

SIMONE KOZCIAK

EVOLUÇÃO DO PROCESSO EROSIVO DA BACIA DOS RIOS ARICA-AÇU E ARICA-MIRIM - MT, ATRAVÉS DE ANÁLISE MULTITEMPORAL

Dissertação apresentada como requisito parcial
à obtenção do grau de Mestre. Curso de Pós-
Graduação em Geologia - Universidade Federal
do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Alberto Pio Fiori

Co-orientadores:

Prof. Dr. Paulo Cesar Soares

Prof. Dr. Naldy Emersom Canali

CURITIBA

2000

Dedico este trabalho ao meu marido, sem o qual não haveria razão de ser, e ao nosso filho Yuri.

Agradecimentos

Foram muitas as pessoas que contribuíram para que este trabalho pudesse vir a ser concluído. Entretanto, quero deixar expresso alguns agradecimentos especiais. Primeiramente, ao Professor Alberto Pio Fiori, como orientador, pela confiança em mim depositada, pela paciência e palavras de estímulo com que sempre pautou a orientação e conduziu a realização desta pesquisa. Pela oportunidade ofertada de se efetuar este estudo, que certamente, muito contribuiu para meu amadurecimento pessoal e profissional.

À professora Chisato Oka Fiori, pela confiança e amizade conquistada desde o período da graduação, e pelas sugestões e auxílio no trabalho de campo.

Ao Projeto Pantanal, pela disponibilidade de materiais e equipamentos utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa, e a todos os colegas do Projeto, que de alguma forma ou de outra, contribuíram e incentivaram a realização deste trabalho, Jucimar Aparecida Guedes, Antônio Conceição Paranhos Filho, e especialmente à Nicole Borchardt, pela amizade e compreensão durante estes anos. E à Gaia Riguini, pelas trocas de informações, e amizade, durante sua estada no Brasil.

Aos professores do Departamento de Geologia, que através das disciplinas, contribuíram para meu conhecimento científico e profissional.

E a todas as pessoas, que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho. Espero que, o conhecimento adquirido, e este trabalho, possa contribuir para concepção de novos projetos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi

Capítulo I

1. Introdução.....	1
2. Metodologia.....	3
2.1 Sistemas de Informações Geográfica.....	3
2.2 Sensoriamento Remoto.....	5
3. Aquisição dos dados cartográficos.....	5
3.1 Transferência dos dados para ambiente SIG.....	6
4. Descrição geral da área.....	10
4.1- Aspectos Geológicos.....	12
4.1.1 – Província Quaternária.....	13
4.1.1.1 – Cobertura Detrito-Laterítica.....	13
4.1.1.2 – Depósitos Detríticos.....	15
4.1.1.3 – Formação Pantanal.....	15
4.1.1.4 – Aluviões Atuais.....	15
4.1.2 – Grupo São Bento.....	16
4.1.2.1 – Formação Botucatu.....	16
4.1.3 - Grupo Paraná.....	17
4.1.3.1 - Formação Furnas.....	17
4.1.3.2 – Formação Ponta Grossa.....	17
4.1.4 - Granito São Vicente.....	18
4.1.5 - Grupo Cuiabá.....	18
4.2 – Aspectos Geomorfológicos.....	19
4.2.1- Planalto dos Guimarães.....	19
4.2.1.1- Chapada dos Guimarães.....	21

4.2.1.2- Planalto do Casca.....	23
4.2.2- Depressão do Rio Paraguai.....	23
4.2.2.1- Depressão Cuiabana.....	24
4.2.3- Planície e Pantanaís Mato-Grossense.....	26
4.3 – Aspectos Pedológicos.....	28
4.3.1- Latossolo Vermelho Escuro - LEd.....	28
4.3.2- Latossolo Vermelho Amarelo - LVd.....	30
4.3.3- Areias Quartzosas - AQa.....	31
4.3.4- Solos Litólicos (Ra, Rd, Re).....	31
4.3.5- Gleí Pouco Húmico - HGPe.....	32
4.3.6- Solos Concrecionários - SCd.....	33
4.3.7- Podzólico Vermelho-Amarelo - PVd.....	33
4.3.8- Laterita Hidromórfica – Hla, HLd.....	34

Capítulo II

1. Erosão dos Solos.....	36
2. Aplicação da EUPS.....	38
2.1- Fator (R) – Chuva.....	38
2.2 - Fator (K) – Erodibilidade do solo.....	39
2.3 - Fator (LS) – Fator Topográfico.....	44
2.4 - Fator (CP) – Uso e Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas.....	45
3. Cálculo do Valor de A.....	51
4. Resultado.....	53

Capítulo III

1. Elaboração e análise dos dados de Sensoriamento Remoto.....	55
1.2 - Técnicas de processamento digital de imagens.....	55
1.2.1 - Técnicas de processamento.....	55
1.2.1.1 - Correção geométrica.....	56
1.2.2 – Técnicas de realce de imagens.....	57
1.2.3 - Técnicas de classificação digital.....	57
2. Produção das cartas de cobertura do solo.....	58

2.1 – Legenda utilizada para a carta de cobertura do solo.....	59
2.2 – Controle de campo e chaves interpretativas.....	59
2.3 – Utilização das técnicas de classificação digital.....	74
 Capítulo IV	
1- Análise multitemporal da mudança ocorrida na cobertura do solo.....	77
2- Evolução da erosão.....	83
2.1 – Cálculo da perda de solo para cada bacia.....	88
3- Tolerância de Perdas de Solo.....	90
 Capítulo V	
1- Conclusões.....	98
2- Considerações Finais.....	102
 Referências Bibliográficas.....	 104

Lista de Figuras

Figura 1 – Esquema de digitalização das cartas topográficas	7
Figura 2 – Esquema de atividades para construção do banco de dados cartográficos	9
Figura 3 – Localização da área.....	11
Figura 4 – Mapa Geológico da área em estudo	14
Figura 5 – Mapa Geomorfológico de área em estudo	20
Figura 6 – Relevo escarpado na Chapada dos Guimarães, com vertentes abruptas..	22
Figura 7 – Escarpa na Chapada dos Guimarães, com presença de escarpas erosivas.	24
Figura 8 – Área rebaixada da Depressão Cuiabana, vista do Mirante, na Chapada dos Guimarães	25
Figura 9 – Áreas inundáveis observadas ao longo do Rio Arica-Açu, sob ponte na BR-364	27
Figura 10 – Mapa de Solos da área em estudo.....	29
Figura 11 – Mapa de curvas Iso-erodentes da Bacia do Alto Paraguai	40
Figura 12 – Iso-erodentes da área em estudo.....	41
Figura 13 – Mapa de Altimetria da área em estudo.....	46
Figura 14 – Carta de Declividade da área em estudo.....	47
Figura 15 – Carta de Cobertura do solo da área em estudo.....	50
Figura 16 – Esquema das atividades realizadas para cálculo do valor de perdas de solo	52
Figura 17 – Carta de Potencial à Erosão da área em estudo para o ano de 1966.....	54
Figura 18 – Imagem Landsat TM, com pontos de observação em campo.....	63
Figura 19 – Observações do trabalho de campo – Ponto 99312.....	64
Figura 20 – Observações do trabalho de campo – Ponto 99317.....	65
Figura 21 – Observações do trabalho de campo – Ponto 99319.....	66
Figura 22 – Observações do trabalho de campo – Ponto 99327.....	67
Figura 23 – Observações do trabalho de campo – Ponto 99372.....	68
Figura 24 – Observações do trabalho de campo – Ponto 99352 e 99354	69
Figura 25 – Observações do trabalho de campo – Ponto 99360.....	70
Figura 26 – Exemplo das classes 2.1.1 e 2.3.1.....	71
Figura 27 - Exemplo das classes 3.1.1 e 3.2.2.....	72
Figura 28 - Exemplo das classes 3.2.1 e 3.2.4.....	72
Figura 29 - Exemplo da classe 3.3.2.....	73

Figura 30 - Exemplo da classe 3.3.3.....	73
Figura 31 - Exemplo da classe 3.3.4.....	73
Figura 32 – Carta de Cobertura do Solo do ano de 1985.....	75
Figura 33 - Carta de Cobertura do Solo do ano de 1985.....	76
Figura 34 – Áreas de superfície agrária para cada ano em estudo.....	78
Figura 35 – Áreas de vegetação natural para cada ano em estudo.....	79
Figura 36 – Variação das diversas classes de cobertura do solo nos três anos considerados, independentemente do destino do uso, para bacia do Rio Arica Açu.....	82
Figura 37 – Variação das diversas classes de cobertura do solo nos três anos considerados, independentemente do destino do uso, para bacia do Rio Arica Mirim.....	82
Figura 38 – Carta de Potencial à Erosão da área em estudo para o ano de 1985.....	85
Figura 39 - Carta de Potencial à Erosão da área em estudo para o ano de 1996.....	86
Figura 40 – Variação do potencial à erosão nos três anos estudados, para bacia do Rio Arica-Açu.....	87
Figura 41 – Variação do potencial à erosão nos três anos estudados, para bacia do Rio Arica-Mirim.....	87
Figura 42 – Carta de Perda Efetiva de Solos, para o ano de 1966.....	95
Figura 43 – Carta de Perda Efetiva de Solos, para o ano de 1985.....	96
Figura 44 – Carta de Perda Efetiva de Solos, para o ano de 1996.....	97

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Valores de erodibilidade (K) dos solos da área em estudo.....	43
Tabela 2 – Fator LS em função das classes de declividade.....	45
Tabela 3 – Categorias de ocupação e valores correspondentes de CP atual.....	49
Tabela 4 – Valores de CP aplicados para cobertura do solo do ano de 1966.....	49
Tabela 5 – Total da área de cada classe de perdas de solo.....	53
Tabela 6 – Classes da legenda do programa CORINE Land Cover.....	60
Tabela 7 – Classes da Legenda CORINE utilizadas na área em estudo.....	61
Tabela 8 – Reagrupamento do código CORINE (1985/1996) e seu significado.....	80
Tabela 9 – Significado do código de uso do solo obtido nas cartas topográficas.....	80
Tabela 10 – Definição do atributo <i>Change</i> , mudança de cobertura de solo de uma determinada área.....	81
Tabela 11 – Variação das diversas classes de cobertura do solo, para ambas as bacias, nos três anos considerados.....	81
Tabela 12 – Fator de CP adquirida para cada classe do código CORINE.....	84
Tabela 13 – Variação do Potencial à Erosão nos três anos estudados para ambas as bacias.....	87
Tabela 14 – Perdas de solo total em cada bacia, nos três anos estudados, em ton/ha.	89
Tabela 15 – Dados obtidos dos perfis de solos do Projeto RadamBrasil (1982) e do Projeto PCBAP (1995), e a tolerância de perdas de solo obtida para cada tipo de solo da região estudada.....	94

Resumo

A erosão dos solos causa uma grande gama de impactos ambientais, desde sua própria degradação até problemas ambientais de forma geral. Os problemas iniciam na área onde ocorre, estendendo-se para grandes áreas, como por exemplo o material em excesso que é erodido em uma bacia hidrográfica, e pode causar o assoreamento dos rios e reservatórios. A região do Pantanal constitui-se em um ecossistema altamente sensível à atividade antrópica, e durante as últimas décadas, verificaram-se importantes transformações nos solos, principalmente nas regiões elevadas do pantanal. Uma intensa denudação do solo e sua rápida erosão vem sendo observada.

Este trabalho tem por objetivo a estimativa, nos últimos 30 anos, de perdas de solo por erosão laminar em duas sub-bacias do Rio Cuiabá, usando o método quantitativo da Equação Universal de Perdas do Solo (EUPS). Os principais fatores que influenciam a erosão do solo foram aplicados em Sistema de Informações Geográficas, através de mapas temáticos, e com o cruzamento desses mapas obteve-se o valor de A , que é a perda média anual do solo em toneladas por hectare ano. Uma análise multitemporal, através de dados de cartas topográficas (1966), e imagens de satélite (1985 e 1996), foi realizada para obtenção dos dados de uso e ocupação do solo, fator que influencia a erosão. Observou-se uma grande mudança na cobertura do solo, ocasionada principalmente por intervenção antrópica, e que consequentemente causou um aumento nos índices de erosão nas duas bacias estudadas.

O índice tolerável de perdas de solo para cada tipo de solo encontrado na região estudada, foi analisado através dos dados obtidos durante o desenvolvimento do trabalho, e constatou-se um aumento significativo nas áreas com perdas de solo acima do índice tolerável para cada solo.

Os valores foram analisados de forma que indicassem a perda média anual por bacia de drenagem. A quantificação do material erodido em cada bacia é de fundamental importância para uma região como o Pantanal, que é fortemente influenciado pelos regimes de inundações.

O uso do SIG permitiu obter resultados rápidos e eficientes, e também a viabilização dos dados que poderão ser usados e manipulados para geração de outros mapas temáticos.

Abstract

□

The erosion of the soils causes a large range of environmental impacts, since its same degradation until environmental problems in general. The problems begin in the area where happens, extending for larger areas. The area of Pantanal is constituted in an ecosystem highly sensitive to antropic impact, and during the last decades, important land cover transformations were verified in the soils, which caused denudation and accelerated erosion of soil.

This work has for objective the estimate, in the last 30 years, of soil losses by sheet erosion, in two sub-basins of Cuiabá River, using the quantitative method of the Universal Soil Loss Equation (USLE).

The USLE factors were estored and analyzed through Geographical Information System, with thematic maps. With the crossing of those maps, was obtained the value of A, that is the annual medium loss of the soil in tons for hectare year. It was be carried one multitemporal analysis, through data of topographical maps (1966), and satellite images (1985 and 1996), for obtaining of the use data and occupation of the soil, factor that influence the erosion.

A great change was observed in the covering of the soil, caused mainly by intervention antropic, and that consequently caused a increase in the erosion indexes in the two studied basins.

The tolerable index of soil losses for each soil type found in the area studies, it was analyzed through the data obtained during the development of the work, and it was verified a I magnify significant in the areas with soil losses above the tolerable index for each soil. The values were analyzed so that they indicated the annual medium loss for drainage basin. The quantification of the soil lost in each basin is of fundamental importance for an area as Pantanal, that is influenced strongly by the regimes of floods.

The multi-temporal soil loss data base showed that the systematic deforestation and the increase of erosion rate. As a consequence silting phenomena developed in the alluvial flat of the study area.

The integration of Remote Sensing, GIS and fieldwork techniques represented fundamental tools for the realization of the work.

Capítulo I

1. Introdução

A erosão dos solos causa uma grande gama de impactos ambientais, desde sua própria degradação até problemas ambientais de forma geral. A erosão não causa problemas apenas nas áreas onde ocorre, mas suas consequências estendem-se para áreas maiores, como é o caso do material que é erodido em uma bacia hidrográfica, e pode causar o assoreamento dos rios e reservatórios de outras bacias.

A área estudada encontra-se próxima ao Pantanal, que está localizado na parte superior e médio da bacia do Rio Paraguai, no Mato Grosso. Representa uma das maiores bacias intra-cratônicas atuais do mundo, estando situada entre as margens das bacias sedimentares do Paraná e do Beni, ambas de origem Paleozóica. Em torno da bacia do pantanal o relevo é formado por amplitudes e escarpas que variam até 600 m, como resultado da regressão erosiva do recente soerguimento do escudo da margem esquerda da Bacia do Paraná.

Durante as últimas décadas, importantes transformações no tipo de cobertura do solo tomaram lugar nas terras altas em torno do Pantanal. Na década de 70, os municípios com área no Pantanal tiveram queda drástica no efetivo rebanho bovino, passando de 4,98 milhões de cabeças em 1970, para 3,53 milhões em 1980 (CAVIDAD GARCIA, 1981). Essa redução se deu, entre outros fatores, à diminuição da oferta de pasto para o gado, dado que, extensas áreas de campos nativos se tornaram permanentemente alagados a partir de 1974. A alternativa encontrada pelos pecuaristas para aumentar a oferta alimentar do rebanho e garantir a rentabilidade, tem sido a implantação de pastagens cultivadas, através da eliminação das áreas florestadas (SILVA et. al, 1995).

Nos planaltos, a região é constituída de rochas paleozóicas, mesozóicas e formações superficiais cenozóicas inconsolidadas sendo estas últimas as principais fontes de sedimentos depositados no Pantanal. O desflorestamento sistemático tem desnudado os solos e, principalmente, as formações superficiais, constituídas de areias inconsolidadas, que vem experimentando rápida erosão, com graves consequências para o regime de inundações em todo o Pantanal.

Baseado nisso, o presente trabalho tem como objetivo analisar a variação do

uso do solo nos últimos 30 anos para evidenciar o impacto ambiental causado pela atividade antrópica e sua consequência na estabilidade e evolução do território.

Dados derivados da cartografia topográfica existente foram confrontados com dados de imagens Landsat TM de 1985 e 1996, com a integração de técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas. Um banco de dados foi construído, primeiramente com os dados cartográficos existentes, e depois acrescidos dos dados multitemporais de uso do solo. Com estes dados também foi analisada a evolução da erosão laminar do solo com aplicação da Equação Universal de Perdas do Solo.

Para atender o objetivo proposto, o presente trabalho encontra-se dividido em capítulos, como segue abaixo.

No 1º capítulo é feita uma descrição rápida sobre as técnicas utilizadas, Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográfica. A metodologia utilizada para criação do banco de dados também é descrita neste capítulo, assim como a caracterização geral da área em estudo.

No capítulo 2 é discutida a Equação Universal de Perdas do Solo, como foi aplicado na área, e os primeiros resultados obtidos. No capítulo 3 são apresentadas as técnicas de processamento digital de imagem, utilizadas para análise do uso do solo para os anos de 1985 e 1996, bem como os resultados obtidos com esta análise.

O capítulo 4 apresenta a análise multitemporal realizada com o cruzamento dos mapas obtidos, apresentando a variação do uso do solo nos últimos anos e a evolução da erosão laminar.

No último capítulo são discutidos, na conclusão, os resultados obtidos em relação aos objetivos propostos e as considerações finais.

2. Metodologia

Para o desenvolvimento do trabalho foi utilizado a integração de técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas. Esta integração representou instrumento de análise fundamental pelas características peculiares deste estudo, pelo tamanho da área investigada e seu difícil acesso, pela necessidade de uma análise multitemporal, pela quantidade de informações geradas e pela necessidade de um banco de dados informatizado para ampliação e divulgação do trabalho.

Técnicas de Sensoriamento Remoto e SIG vem sendo usadas com sucesso em estudos de características geoambientais, e representam instrumentos fundamentais de pesquisa, como exemplo VALERIANO (1985), que desenvolveu uma metodologia para estimar a exatidão de classificação de mapas de uso da terra utilizando dados Landsat. OLIVEIRA et al. (1985) analisaram a expansão urbana de Brasília a partir da análise multitemporal de dados Landsat. NIERO e FORESTI (1983) utilizaram técnicas supervisionadas e não supervisionadas de classificação do uso do solo em São Paulo, e SILVA et al. (1995) realizaram um mapeamento e quantificaram áreas desmatadas no Pantanal, utilizando dados TM.

Análises da erosão do solo utilizando estas duas técnicas também estão sendo realizadas com sucesso. Por exemplo CARVALHO et al. (1993), aplicaram a EUPS para identificação do potencial de erosão em áreas do semi-árido no nordeste brasileiro, utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto e SIG. Também SEMMELMANN et al. (1995) criaram uma proposta metodológica para quantificar processos de erosão linear utilizando técnicas de Sistemas de Informações Geográficas, assim como KUNTSCHIK (1996) que, trabalhando na micro bacia do Ribeirão das Araras em São Paulo, implementou um modelo para estimativa da perda de solos por erosão hídrica utilizando SIG.

2.1 Sistemas de Informação Geográfica

O termo Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. Um SIG armazena a geometria e os atributos dos dados que estão georreferenciados, isto é, localizados na

superfície terrestre e numa projeção cartográfica. Os dados tratados em geoprocessamento tem como principal característica a diversidade de fontes geradoras e de formatos apresentados (CÂMARA e MEDEIROS, 1996). SIG pode ser definido como:

“Um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados geográficos” (ARONOFF, 1986);

“Conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real” (BURROUGH, 1986);

“Um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas” (COWEN, 1988);

“Um banco de dados indexados espacialmente, sobre o qual opera um conjunto de procedimentos para responder a consultas sobre entidades espaciais” (SMITH et al, 1987).

Numa visão abrangente, pode-se indicar que um SIG tem os seguintes componentes:

- Interface com o usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Funções de processamento gráfico e de imagens;
- Visualização e plotagem;
- Armazenamento e recuperação da dados (organização sob forma de um banco de dados geográfico).

Estes componentes se relacionam de forma hierárquica. No nível mais próximo ao usuário, a *interface homem-máquina* define como o sistema é operado e controlado. No nível intermediário, um SIG deve ter mecanismos de processamento de dados espaciais (*entrada, edição, análise, visualização e saída*). No nível mais interno do sistema, um *sistema de gerência de banco de dados geográficos* oferece armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos (CÂMARA e MEDEIROS, 1996).

2.2 Sensoriamento Remoto

Sensoriamento Remoto é a utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato físico com eles. É a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações (NOVO, 1992).

Fotografias aéreas, imagens de satélite e imagens de radar são exemplos de dados adquiridos através de sensores. Neste trabalho são utilizadas imagens adquiridas através do satélite Landsat 5 Thematic Mapper.

A opção pela utilização das imagens orbitais LANDSAT TM se deve às suas características, ou seja, imagens multiespectrais com alta resolução espacial, em razão da maior sensibilidade espectral dos seus sensores e a possibilidade de se obter imagens compostas coloridas, permitindo uma interpretação mais rápida e fiel dos temas de interesse. Além disso, proporcionam uma visão sinótica de extensas áreas, facilitando a análise global da bacia hidrográfica. Outros aspectos importantes são: disponibilidade e a repetibilidade das imagens, possibilitando um melhor monitoramento das ações antrópicas das áreas imageadas, e ainda uma pequena quantidade dessas que possibilitam a cobertura de extensas áreas (FEMA e UFTM, 1990). Outra vantagem é a possibilidade de aplicação em múltiplas disciplinas, como geologia, geomorfologia, exploração mineral, agricultura, uso do solo e monitoramento ambiental. A disponibilidade de informação por bandas separadas e em forma digital, permite definir quantitativamente, até em modo automático, determinadas características presente sobre a superfície, ou próximas dessas, através de um limitado número de observação do terreno (PRANZINI, 1982).

3. Aquisição dos dados cartográficos

Para aquisição dos dados e elaboração das cartas temáticas, adotou-se a metodologia desenvolvida no Projeto “Geo - environmental dynamics of Pantanal – Chaco:

multitemporal study and previsional modelling” (FIORI et al., 1995).

As cartas topográficas utilizadas para o desenvolvimento do trabalho foram: Acorizal – MI2154, Chapada dos Guimarães – MI2155, Rio Casca – MI2156, Cuiabá – MI2198, Arica-Açu – MI2199 e São Vicente – MI2200, todas na escala 1:100.000, do DSG (Diretoria de Serviço Geográfico – Brasil), do ano de 1976. Estas cartas foram inicialmente convertidas para o formato digital raster através da escanização. Este arquivo digital foi corrigido geometricamente com 13 pontos de controle, para eliminar possíveis problemas de distorção, eventualmente adquiridos pela passagem no scanner. A correção geométrica foi feita com o software *Erdas Imagine*®.

A imagem corrigida foi exportada em arquivo TIF, colocada como fundo e vetorizada com uso do software *Macromedia FreeHand*®. O tematismo presente na carta topográfica foi digitalizado seguindo o critério de subdivisão em layers. Foram digitalizados curvas de nível, pontos cotados, hidrografia, rede viária e cobertura do solo. Todas as curvas de nível que representam uma determinada cota altimétrica foram reagrupadas em um layer (ex.: 200, 240, etc). Da mesma forma, arcos que constituem limite de polígono de uso do solo também foram digitalizados em um layer separado. Como o software não permite a criação de topologia, os atributos de cada polígono foram digitalizados como texto, associados a um ponto (*label points*), em um layer separado chamado ‘centroidi’. A hidrografia foi digitalizada distinguindo-se, através de layers distintos, as características de rios permanentes ou temporários, as diferentes bacias hidrográficas e o sentido de escoamento dos rios. Os pontos cotados e a rede viária também foram digitalizados em layers apropriados.

O arquivo final, com os vários layers descritos, foi convertido para o formato DXF (*Drawing eXchage File format*), compatível com os parâmetros do software *Arc/Info*®, como mostra a figura 1.

3.1 Transferência dos dados para ambiente SIG

Para a construção do banco de dados foi utilizado o software *Arc/Info*®, que armazena os dados em uma estrutura de dados topológica, como uma coleção de ‘coverages’ – coberturas. As coverages são unidades básicas de armazenamento e podem representar uma série de características geográficas. As características ou feições colocadas em coverages individuais correspondem a um aspecto temático do mapa (layer ou camada). Uma coverage

inclui um arquivo ou tabela de feições (FAT – Feature Attribute Table) que podem ser polígonos, arcos ou pontos.

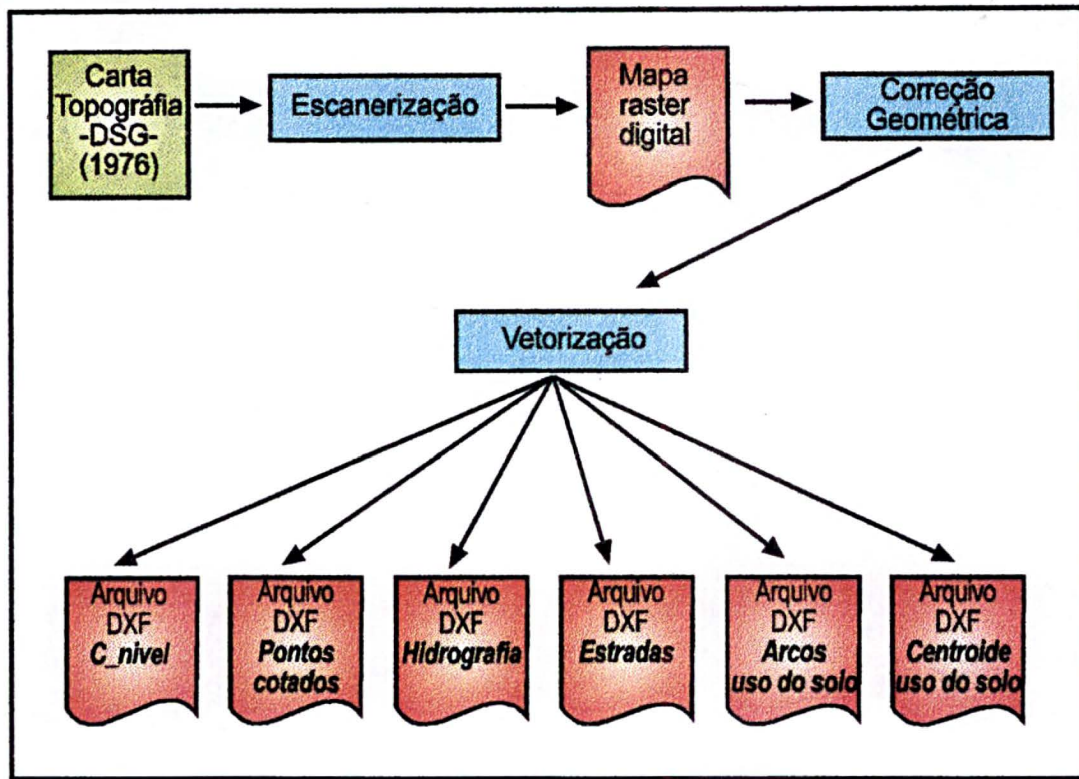


Figura 1 – Esquema de digitalização das cartas topográficas.

A FAT contém *items* (ou colunas) identificadores para as feições que são criadas automaticamente pelo sistema e pode ser adicionada de outros *items*, que representam os demais atributos das feições.

Todos os dados digitalizados foram transformados em coverages e identificados, em suas tabelas específicas, pelo *item* ‘origem’, com o nome do layer original. Foram agrupados todos os layers que representavam cotas altimétricas em uma única coverage ‘c_nivel’. Todos os layers com topologia de arco foram agrupados na coverage ‘arquitot’. Os layers ‘pontos cotados’ e ‘centróide’ constituíram, cada um, uma coverage.

Estas quatro coverages foram georreferenciadas, para se atribuir um sistema de coordenadas, na projeção UTM – South America 1969, utilizando 4 pontos de controle, nos vértices de cada carta topográfica. A georreferenciação também foi útil para juntar todas as cartas topográficas. Em seguida foram corrigidas de eventuais erros provenientes da digitalização.

Utilizando o *item* origem, pela expressão lógica, foi possível extrair da coverage ‘architot’, já corrigida, coverages específicas de hidrografia, estradas e arcos limites dos polígonos de cobertura do solo. Unindo a estrutura da coverage de arcos limite com a coverage de ‘centroidi’, que contém os atributos dos polígonos, foi construído a coverage de topologia poligonal ‘uso_solo66’. Nesta coverage foi realizado uma nova correção de possíveis erros derivados da digitalização ou adquiridos durante os comandos realizados para a construção do banco de dados.

A figura 2 apresenta um esquema com as atividades desenvolvidas para a construção do banco de dados cartográficos.

Também foram digitalizados dados de geologia, geomorfologia e pedologia, adquiridos do Projeto RADAM BRASIL, 1982 (Folha SD.21 – Cuiabá) seguindo a mesma metodologia, mudando-se somente os layers. A escala original de 1:1.000.000 foi ajustada para a escala 1:250.000 pela sobreposição na imagem de satélite e interpretação visual.

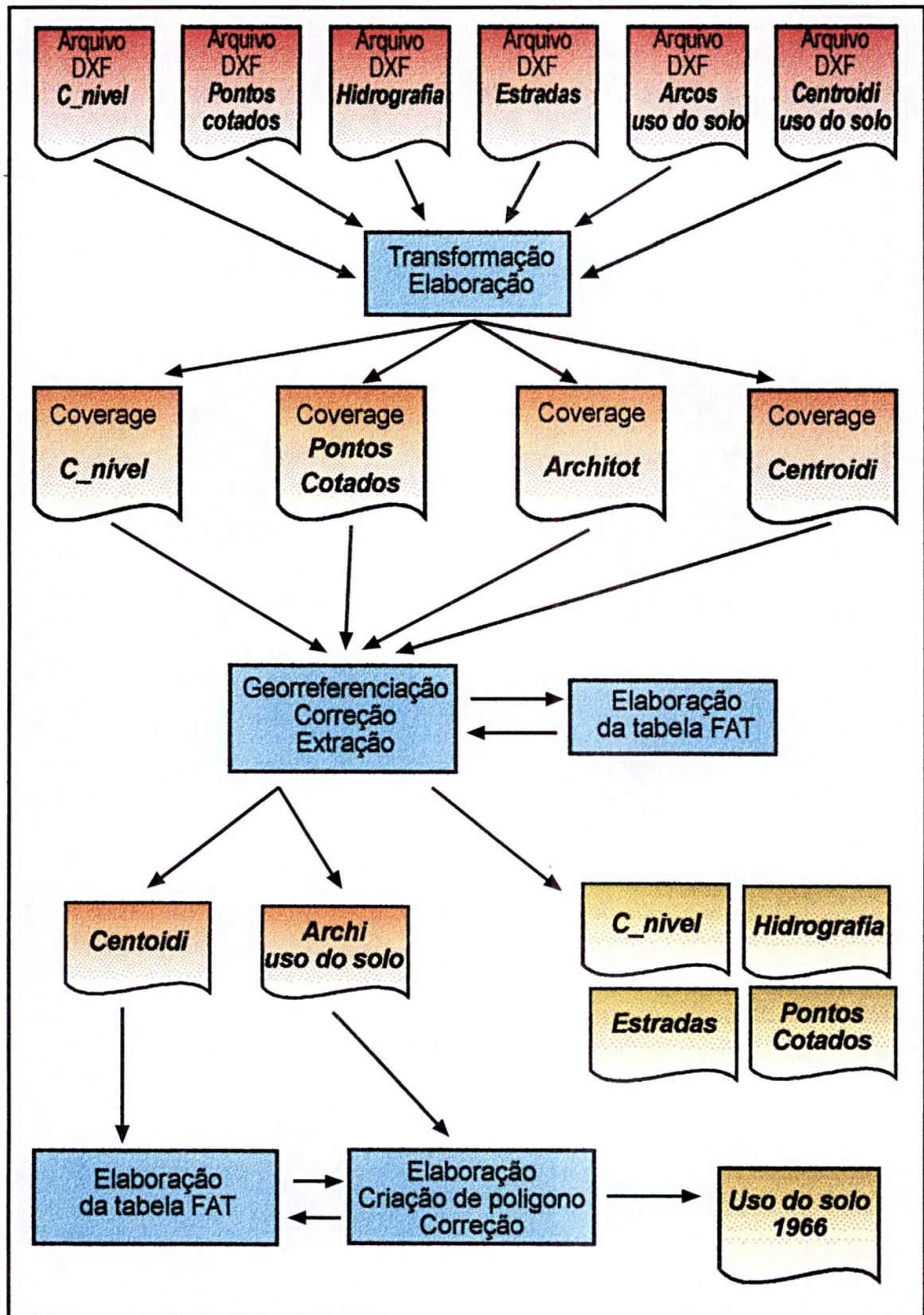


Figura 2 - Esquema de atividades para construção do banco de dados cartográfico.

4. Descrição geral da área

A área em estudo compreende as bacias formadas pelos Rios Arica-Açu e Arica-Mirim, tributários da margem esquerda do Rio Cuiabá, entre as longitudes 56°08'W e 55°20'W e latitudes 55°23'S e 16°00'S. Localizada no estado do Mato Grosso, abrange os municípios de Cuiabá, Chapada dos Guimarães, Santo Antônio de Leverger, Campo Verde, Barão de Melgaço e Jaciara, sendo que a cidade de Cuiabá é o maior centro urbano localizado na área. O principal acesso é pela Rodovia BR-364, que passa pelo centro das duas bacias, no sentido Leste – Oeste (Figura 3).

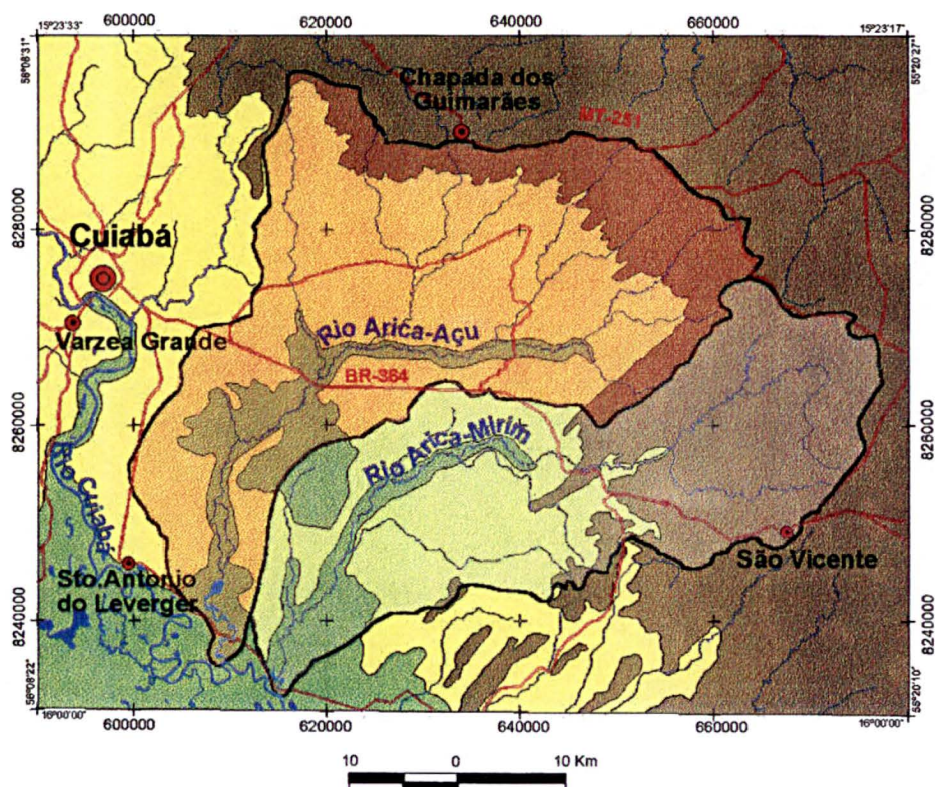
A bacia do Rio Arica-Açu possui uma área de drenagem de 1645 km² e do Rio Arica-Mirim de 1263 km². Os principais rios formadores da duas bacias tem suas nascentes no Planalto dos Guimarães, com altitudes de 600 a 800m, passam pela Depressão Cuiabana, uma área praticamente plana, e deságuam no Rio Cuiabá, onde este começa a adentrar no Pantanal. A bacia do Rio Arica-Mirim drena uma área bastante acidentada, denominada Serra de São Vicente, que constitui o divisor d'água entre as duas bacias.

Na região compreendida pelo planalto, desenvolve-se a agricultura intensiva, misturando-se com as pastagens. Na área dominada pela depressão, há domínio de pastagens, pelo fato do solo ser inadequado para o plantio.

Do ponto de vista climático, o traço mais marcante na região é a existência de um vasto domínio de clima tropical – quente – sub-úmido, que se estende por quase toda a área de cerrados, envolvendo, quer os terrenos cristalinos de topografia semiplana ou acidentada, quer as chapadas sedimentares. Excluindo as áreas úmidas (onde a insuficiência de chuva no inverno não é muito importante) e as subseqüentes (onde o inverno é relativamente frio), em todo o território regional centro-oeste, o inverno é um estação de temperaturas predominantemente amenas, de insuficiência de chuva e de déficit de água no solo, que pode se estender até a primavera. O verão é uma estação muito quente, excessivamente chuvosa, de solos saturados de umidade e de intenso escoamento superficial de água posta à disposição dos processos erosivos dos solos e da realimentação das enchentes dos rios.

Os aspectos geológicos, geomorfológicos e pedológicos da região são descritos a seguir.

Localização da Área de Estudo



- Cidades
- Estradas
- Drenagem
- Bacia do Rio Arica-Açu
- Bacia do Rio Arica-Mirim

- Regiões Fisiográficas**
- Região dos Planaltos
 - Região das Depressões
 - Região dos Pantanaís

Figura 3 - Localização da área em estudo

4.1- Aspectos Geológicos

A área está localizada no Complexo Cristalino Brasileiro, que constitui o substrato no qual se sucederam os diversos eventos geológicos da região do Pantanal. O arcabouço geológico compreende unidades representativas da evolução litoestratigráfica ocorrida desde o arqueano até os aluviões Holocênicos. As unidades mais antigas são denominadas de Complexo Xingu e Complexo Rio Apa.

Sobre esses complexos depositaram-se os sedimentos do Grupo Aguapeí, originados por eventos transgressivos e regressivos, caracterizando ambiente costeiro e epinerítico. Intrudidas nessas unidades há rochas básicas e ultrabásicas. No final do Pré-Cambriano, surge a Suíte Intrusiva São Vicente e as vulcânicas de Mimoso, intrudidas nos metassedimentos do Grupo Cuiabá. O grupo Cuiabá representa duas fases de sedimentação, uma de ambiente marinho e outra de ambiente glaciomarinho.

Seguiu-se um período de estabilidade Tectônica nas bacias que se formaram, a norte e a sul da bacia do Alto Paraguai, sendo essas preenchidas por sedimentos carbonáticos dos Grupos Alto Paraguai e Corumbá, respectivamente. No Paleozóico, a região foi submetida a intenso processo de erosão e subsidência, dando origem a Bacia Sedimentar do Paraná, constituída pelas formações Furnas, Ponta Grossa, Aquidauana, Palermo, Irati e Corumbataí.

No final do Jurássico e início do Cretáceo, a região apresentou um ambiente com características aquosas e eólicas, onde se depositaram as Formações Pirambóia, Botucatu e os derrames basálticos da Formação Serra Geral. Ainda no Cretáceo, sobre uma plataforma estável, depositou-se, ao norte, uma seqüência de sedimentos arenosos que constituem o Grupo Parecis. Mais a leste, nos domínios da Bacia do Paraná, depositaram-se os arenitos calcíferos do Grupo Bauru, de ambiente continental / fluvial, com contribuição lacustre.

No final do mesozóico, houve um período de estabilidade, originando uma vasta planície aplainada, recobrindo, ao norte o Grupo Parecis e a sudeste, grande parte da Bacia do Paraná. Trata-se de unidade edafoestratigráfica denominada Coberturas Detrito-Lateríticas, constituída por material argilo-arenoso associado a crostas ferruginosas. Ainda no Terciário, antigos falhamentos foram reativados, aliados às fases orogênicas que atuaram nos Andes e que deram origem a abatimentos representados pela Bacia do Rio Paraguai, cobertas pelos Sedimentos quaternários das formações Pantanal e Guaporé (RADAM BRASIL, 1982).

Finalmente, tem-se os aluviões atuais, representadas pelos depósitos que se processam até hoje, principalmente nas planícies de inundação dos rios Paraguai e Cuiabá.

A área em estudo é abrangida quase que totalmente pelas rochas do Grupo Cuiabá, praticamente formando a unidade geomorfológica Depressão Cuiabana. Apresenta formações bem diferenciadas na unidade Planalto dos Guimarães, e no extremo oeste da área são encontrados as formações da Província Quaternária, como mostra a figura 4. A descrição de cada formação geológica encontrada na região estudada é descrita a seguir.

4.1.1 – Província Quaternária

Em todo o Pantanal, a Província Quaternária ocupa mais de 120.000 km² de superfície, sendo constituída pelas formações sedimentares da Depressão do Rio Paraguai e das Planícies e Pantanaís Matogrossenses. Na área em estudo é encontrada a oeste, margeando os principais rios das bacias.

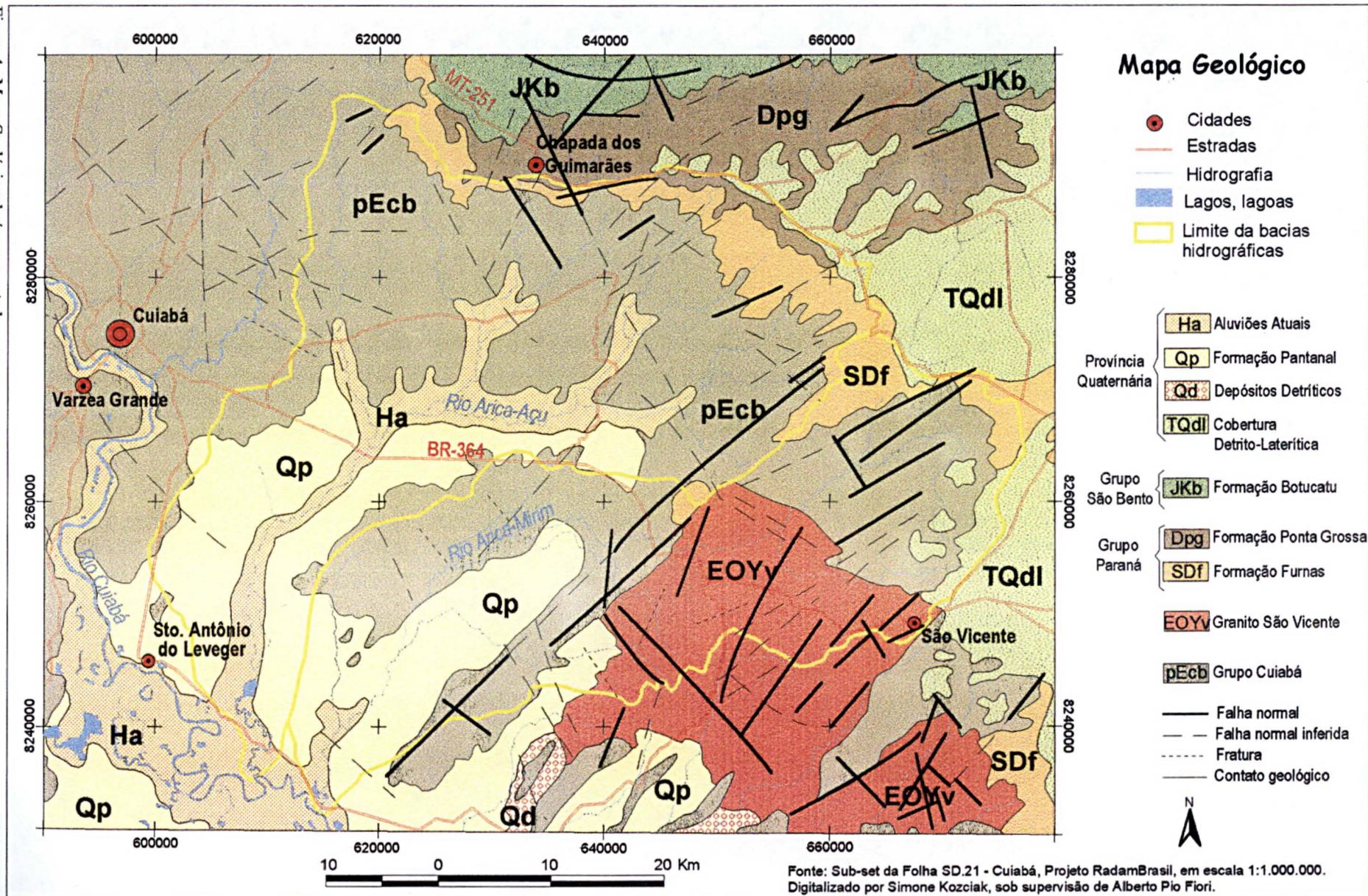
Nessa Província são encontrados, entre outras unidades, Cobertura Detrito Laterítica, de Idade Terciária, Depósitos Detríticos, Formação Pantanal e Aluviões Atuais, todos descritos a seguir.

4.1.1.1 – Cobertura Detrito-Laterítica

Constitui uma unidade edafoestratigráfica, onde se distinguem três horizontes: **inferior** - areias inconsolidadas, argilas de cores variadas, concreções limoníticas, produto de alteração das rochas subjacentes; **médio** - espessos lateritos ferruginosos concrecionários, com seixos de quartzo; **superior** – solo argilo-arenoso, marrom avermelhado, com concreções ferruginosas (PCBAP, 1997). Apresenta-se normalmente nos níveis mais elevados, formando extensas chapadas ou planaltos arenosos. Pode ser observada ocupando grandes frações da unidade geomorfológica Planalto dos Guimarães.

Segundo FIGUEIREDO et al. (1974), trata-se de perfis lateríticos típicos, maduros e em fase final de erosão. As escarpas sobreexistem, sustentadas por blocos de cangas. Na bacia do Paraná, recobre quase todas as unidades litoestratigráficas desta depressão deposicional (Formação Furnas, Ponta Grossa, Aquidauana, Bauru e Botucatu), incluindo ainda as rochas do seu embasamento na borda ocidental, constituídas pelo Grupo Cuiabá e Granito São Vicente.

Figura 4 - Mapa Geológico da área em estudo.



A idade de formação destas coberturas foi determinada no Terciário Quaternário, com base nos eventos epigenéticos e da fase ativa de erosão que aplainaram aquela região, durante aqueles períodos. Sua evolução está ligada a processos pedogenéticos a partir de uma superfície aplainada em condições climáticas tipicamente tropical, devido à necessidade de alternância de estações secas e chuvosas (RADAM BRASIL, 1982).

4.1.1.2 – Depósitos Detríticos

Tratada no Projeto RADAM BRASIL (1982) como uma nova unidade quaternária, os depósitos detríticos são encontrados em uma pequena porção, ao sul da área de estudo, como acidentes geográficos encontrados a leste do Rio Cuiabá.

Das poucas evidências litológicas registradas, detectaram-se acumulações de sedimentos areno-siltosos, grosseiros e parcialmente laterizados, provenientes da desagregação de rochas do Grupo Cuiabá. Estas ocorrências evidenciam processos erosivos recentes, com acumulações do tipo principalmente coluvial.

4.1.1.3 – Formação Pantanal

É constituída de sedimentos arenosos, siltico-argilosos e areno conglomeráticos semi-consolidados e inconsolidados. Ocorre na Depressão Cuiabana, onde o principal rio, o Rio Cuiabá, exibe inúmeros meandros responsáveis pela existência de lagoas colmatadas, nas proximidades da cidade de Santo Antonio de Leverger.

Nesta área de ocorrência da Formação Pantanal, as cotas altimétricas variam de 150 a 200 m e a formação tem espessura estimada em 70 m, com uma possança média de 40m. Recobre discordantemente rochas do Grupo Cuiabá e o Granito São Vicente.

Com relação à sua idade, raras são as citações sobre datações paleontológicas realizadas em áreas do Pantanal Mato-grossense. Entretanto, ALMEIDA (1965) referiu-se a presença de mamíferos fósseis na zona norte do pantanal, fato este que viria comprovar o início das formações dos depósitos arenosos que constituem o Pantanal - Mato-grossense a partir do Pleistoceno, concordando com a maioria dos autores, que são unânimes em posicionar os depósitos desse pantanal como quaternários, correlacionando-os com os depósitos aluvionários da bacia do Guaporé (RADAM BRASIL, 1982).

4.1.1.4 – Aluviões Atuais

Formam as planícies de inundação dos principais rios e seus tributários,

destacando-se mais na bacia do Rio Ariça-Açu. São depósitos atuais que se encontram ainda em fase de deposição. Por esses rios mostrarem-se pouco sinuosos, sendo mais retilínios e bastante encaixados, provavelmente devido a controle estrutural, a planície de inundação torna-se pequena, com depósitos pouco largos, porém linearmente ressaltáveis (RADAM BRASIL, 1982).

Compõe-se de areias, siltes argila e cascalhos, reconhecendo-se depósitos de canal, depósitos de barra em pontal e transbordamento. Possuem pequena espessura, não atingindo 10 m. GUIMARÃES e ALMEIDA (1972) comentaram que às margens do rio Cuiabá as aluviões alcançam até 15 m de espessura.

4.1.2 – Grupo São Bento

É constituído pelo pacote formado, na base, pelos arenitos eólicos da Formação Botucatu, e na porção superior pelos basaltos da Formação Serra Geral, com lentes de arenitos intertrapeanos. Na área em estudo é encontrada somente a Formação Botucatu, posicionando-se no limite norte da folha, conforme descrito a seguir.

4.1.2.1 – Formação Botucatu

Essa formação constitui uma das maiores deposições áridas do mundo. Contando a Bacia do Paraná, o Paraguai Oriental e o nordeste na Argentina, ocupa mais de 1.300.000 km². Na bacia do Alto Paraguai, ocupa mais de 10.000 km², e sua espessura está em torno de 120m.

Sua deposição é eólica em ambiente desértico. Está assentada discordantemente sobre a Formação Aquidauana, e está recoberta pelos basaltos da Formação Serra Geral. Litologicamente, é constituída por uma sequência de arenitos eólicos, com notáveis estratificações cruzadas, ocorrendo em alguns locais, fácies fluvio-lacustre. Arenitos finos à médios, avermelhados a róseos, pintalgados de branco, as vezes laminados e com lentes conglomeráticas, constituem as litologias predominantes.

A idade dessas rochas foi alvo de pesquisa realizada por diversos autores, prevalecendo atualmente a realizada por TEIXEIRA (1980), que definiu uma época em torno de 130 MA, admitindo uma idade Jurocretácea para a Formação Serra Geral. A Formação Botucatu, tendo como base as correlações feitas com a Formação Serra Geral, é colocada no Triássico Superior, podendo-se estender para Jurássico, tendo em vista o intertrapeamento

com o magmatismo basáltico da Formação Serra Geral (PCBAP, 1997).

4.1.3 - Grupo Paraná

As rochas mais antigas da Bacia Sedimentar do Paraná estão dentro do Grupo Paraná, e são representadas por uma sequência de rochas silurodevonianas e devonianas, caracterizadas respectivamente por uma sequência de arenitos grosseiros e conglomerados que constituem a Formação Furnas, e por uma sucessão argilo-arenosa, que constitui a Formação Ponta Grossa.

4.1.3.1 - Formação Furnas

É a unidade basal da Bacia Sedimentar do Paraná, e inicia suas exposições a oeste da cidade de Chapada dos Guimarães, mostrando um relevo *cuestiforme*. Compõem as bordas dos Planaltos dos Guimarães em uma faixa contínua, de direção geral norte-sul, com largura média de 20 km.

Em razão do substrado irregular e ação dos processos erosivos, a Formação Furnas apresenta uma espessura muito variável, com valores máximos de subsuperfície de 343m, segundo SCHNEIDER *et al.* (1974). Estratigraficamente, constitui a base do Grupo Paraná, assentando-se discordantemente sobre os metassedimentos do Grupo Cuiabá e as intrusivas ácidas do Granito São Vicente. Superiormente, é recoberta pela Formação Ponta Grossa, em contato gradacional e concordante. A idade da unidade é amplamente aceita como indo do Siluriano Inferior ao Devoniano Inferior.

Litologicamente, a Formação Furnas é constituída por arenitos esbranquiçados e avermelhados, médios a grosseiros, com estratificações plano paralelas e cruzadas. Lentes conglomeráticas e intercalações de camadas silto-argilosas são frequentes.

4.1.3.2 – Formação Ponta Grossa

É a unidade superior do grupo Paraná e ocorre na Chapada dos Guimarães, em uma faixa estreita e descontínua, devido a condições estruturais ou erosivas, com direção E-O, e largura aproximada de 10 km.

Litológicamente, é constituída por intercalações de siltitos e arenitos finos, argilosos, finamente laminados, cinza esverdeado, micáceos e folhelhos fossilíferos. Quanto à sua posição estratigráfica, a mesma sotope-se aos sedimentos da Formação Aquidauana, em contato discordante erosivo. Em áreas restritas, ao norte da área de estudo, é recoberta pela

Formação Botucatu, além das coberturas detrítico-lateríticas e aluviões recentes. Sobreposição à Formação Furnas, em contato concordante e gradual. O ambiente de sedimentação dessa unidade é aceito de maneira unânime pelos estudiosos como sendo marinho, sob condições redutoras, zona nerítica e clima frio (OLIVEIRA, 1964).

A idade Devoniana, aceita pela maioria dos autores, baseia-se na abundante fauna de trilobitas, branquiópodes e quitinozoários. Sua espessura em superfície é variável, em função da erosão e problemas estruturais. SCHNEIDER et al. (1974) apresentam valores da ordem de 200 a 300m; em subsuperfície foi encontrado em poço perfurado na região, uma espessura de 467m.

4.1.4- Granito São Vicente

Ocorre na extremidade meridional, a sudoeste da área de estudo, e constitui nessa região a feição fisiográfica denominada Serra de São Vicente, composta por morros abaulados e às vezes aguçados, com altimetria em torno de 700 metros.

O Granito São Vicente acha-se intrudido no Grupo Cuiabá, onde ocasionou modificações litoestruturais, oriundas de metamorfismo termal. Possui fontes de águas termais, situada na localidade Águas Quentes (PCBAP, 1997). Litologicamente, esse granito é holocristalino e leucocrático, com coloração predominante rósea e às vezes acinzentada. Possui externamente esfoliação esferoidal e fraturas retilíneas e falhamentos com orientação NE. A idade geológica está em torno de 504 MA (RADAM BRASIL, 1982).

4.1.5 - Grupo Cuiabá

O Grupo Cuiabá é constituído por rochas incipientemente metamorfizadas com predominância de metaparaconglomerados polimíticos, cores variegadas cinza chumbo e marrom chocolate, matriz siltico arenosa, bem orientada (xistosidade), com clastos de quartzo, feldspato, quartzito, granitos e rochas básicas (RADAM BRASIL, 1982).

As rochas deste grupo ocupam a quase totalidade da Depressão Cuiabana. O relevo é geralmente aplainado, onde se destacam cristas produzidas por rochas mais resistentes. Aliado a estas feições está o seu comportamento estrutural, que através de acamamentos originais e xistosidades, com direções paralelas, vem desenvolvendo estruturas de direção N40E e inflexão quase leste-oeste.

A espessura das rochas do Grupo Cuiabá está em torno de 4.000 m, segundo dados dos trabalhos de ALMEIDA (1964) e LUZ *et al* (1980). O ambiente de sedimentação é marinho, tectonicamente instável, com períodos de quietude, ocasião em que se dava a precipitação carbonática. A idade das rochas desse Grupo, segundo HASUI & ALMEIDA (1970), é interpretada como sendo de 549 MA, no mínimo.

Na área em estudo, o Grupo Cuiabá acha-se distribuído na Depressão Cuiabana. Suas rochas desaparecem sob os sedimentos semiconsolidados e inconsolidados da Formação Pantanal, emergindo localmente em formas de inselbergues (morros testemunhos), sustentados por metarenitos, mármore calcíticos e dolomíticos e por quartzitos (RADAM BRASIL, 1982)

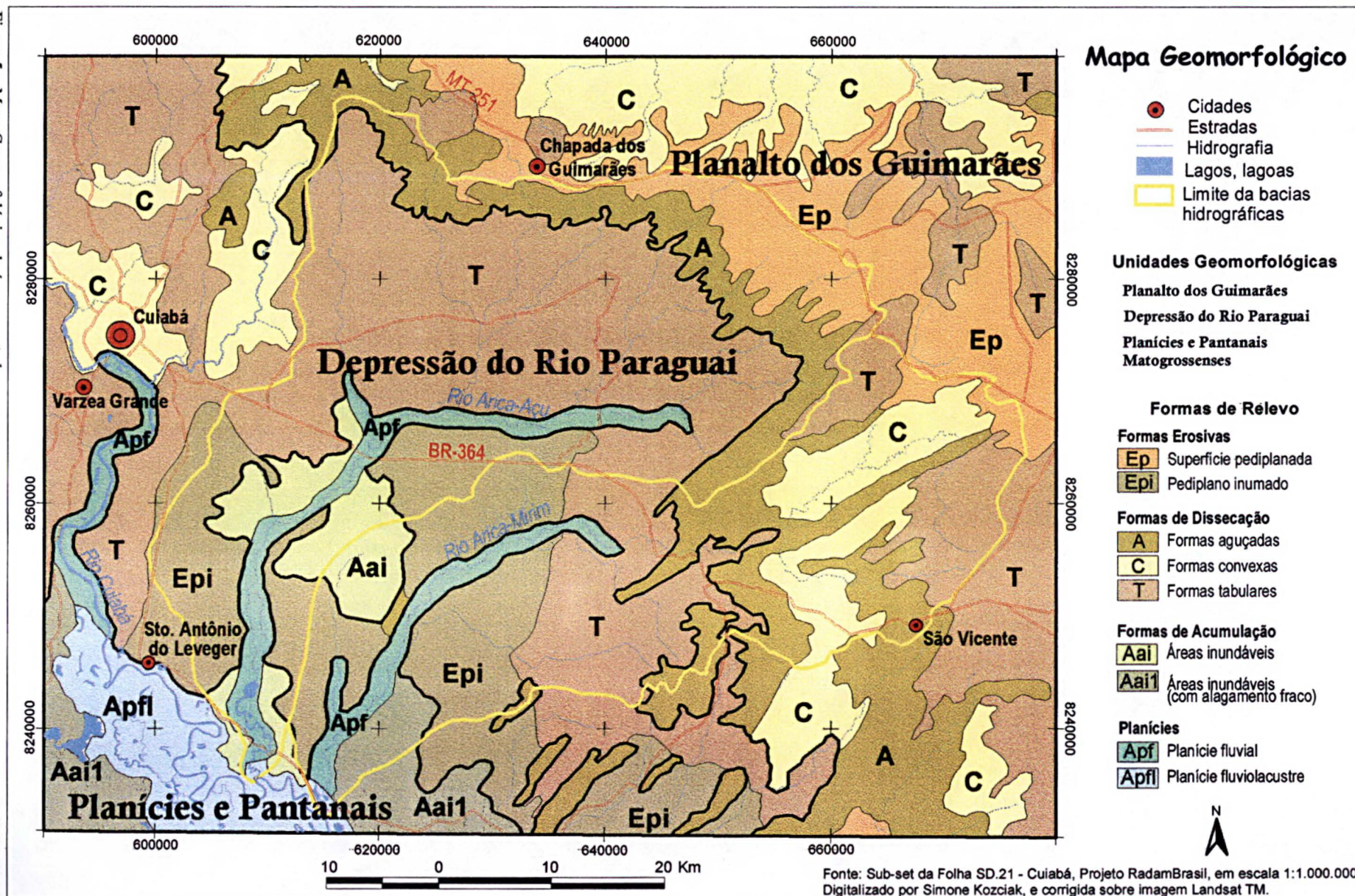
4.2 – Aspectos Geomorfológicos

Morfologicamente as duas bacias são formadas por três unidades bem distintas, segundo RADAM BRASIL (1982): Planalto dos Guimarães, Depressão do Rio Paraguai e Planícies e Pantanaís Mato-grossenses. Possui altitudes que variam de 160 a 850 metros. Os principais rios que drenam as duas bacias tem suas nascentes no Planalto dos Guimarães, apresentam direção NE/SO, e cruzam a Depressão Cuiabana, indo desaguar no Rio Cuiabá, onde a planície abre-se para o pantanal, apresentando lagos e meandros e canais colmatados. É onde ocorrem áreas deposicionais sujeitas a inundações periódicas, correspondentes às terminações norte das Planícies e Pantanaís Mato-grossense. Estas unidades podem ser observadas na figura 5.

4.2.1- Planalto dos Guimarães

Constitui-se em divisor natural das Bacias Platina e Amazônica. A unidade apresenta características topográficas e geomórficas bem distintas, de modo que foi possível reconhecer três compartimentos individualizados: Chapada dos Guimarães, com cotas que variam dos 600 a 800 m; Planalto do Casca, com cotas que vão de 300 a 600m; e o Planalto

Figura 5 - Mapa Geomorfológico da área em estudo.



dos Alcantilados, que oscila entre os 300 e 650m de altitude. Apresentam litologias que abrangem os sedimentos das Formações Bauru, Botucatu e, secundariamente, as Formações Aquidauana, Furnas e Ponta Grossa.

No Planalto dos Guimarães observam-se áreas de relevos conservados (Ep) remanescentes de antigas superfícies de aplanamento. Também se encontram áreas dissecadas, onde o entalhe da drenagem atinge de 30 a 50 m de profundidade. A presença de sedimentos finos, de constituição argilo-arenosa, com coloração vermelho escuro e crostas ferruginosas, em formas de bancadas, com espessura de aproximada de 20 a 40m é observada nos níveis mais altos da chapada. Frequentemente, mantém pequenas escarpas desenvolvidas em anfiteatros erosivos, posicionadas nas cabeceiras dos cursos d'água.

Na Chapada dos Guimarães, as cotas ultrapassam os 800m na parte norte, e nas proximidades da escarpa sul, estão em torno de 600m. Esta diferença altimétrica não se dá de forma brusca, mas através de uma superfície aplanada, de caimento topográfico norte-sul. A homogeneidade deste declive é parcialmente interrompido pela presença do Rio das Mortes, que drena a superfície da chapada de oeste para leste. Os topos dos interflúvios são mantidos pelo material detrítico argilo-arenoso e concrecionário e quase todos os fundos de vales estão moldados nas areias friáveis da Formação Bauru. O relevo se caracteriza por superfícies planas (Ep) e apresenta algumas rupturas de nível nos anfiteatros erosivos das cabeceiras de alguns cursos de água, que demandam em direção ao rio Cuiabá. Estes anfiteatros também resultam de erosão remontante, atuando diferencialmente nas bancadas concrecionárias e nas areias da Formação Bauru. No restante das áreas do Planalto dos Guimarães, mais precisamente, nas subunidades do Planalto dos Alcantilados e Planalto do Casca, o relevo mostra-se mais dissecado e normalmente mais rebaixado, sem ocorrência das bancadas concrecionárias. Nestas áreas predominam solos arenosos, desenvolvidos em relevo dissecado, em formas tabulares e convexas de menor espaçamento interfluvial, decorrentes de maior densidade da rede de drenagem.

No Planalto dos Guimarães a articulação entre a superfície da Chapada e os Planaltos dos Alcantilados e do Casca se faz através de escarpas quase sempre muito abruptas, decorrentes da atuação tectônica e da erosão diferencial.

4.2.1.1- Chapada dos Guimarães

Constitui uma única e contínua superfície, mas comporta variações topográficas consideráveis, com cotas variando de 600 até 800 m. A chapada é toda

contornada por relevo escarpado, com vertentes muito abruptas (figura 6), mantidas por arenitos devonianos (Formação Furnas e Ponta Grossa). Estas rochas permitem um modelado de um relevo com aspecto cuestiforme, cuja frente está voltada para a Depressão Cuiabana. Verifica-se grande número de canais de drenagem, todos com direção preferencial de NE/SO, dos quais muitos são temporários.



Figura 6 – Relevo escarpado na Chapada dos Guimarães, com vertentes abruptas.

Mais ao sul, verifica-se acentuado número de cristas alongadas, elevadas e relativamente estreitas, mantidas por quartzitos do grupo Cuiabá. Nessa mesma área encontra-se ainda um relevo dissecado, predominantemente em formas convexas e, secundariamente em formas aguçadas, elaboradas em rochas do Granito São Vicente.

A superfície da chapada comporta relevo bastante plano, com fraca densidade de drenagem, correspondendo a relevos predominantemente conservados. Foi moldada em arenitos da Formação Bauru, que se mostram muito friáveis. Estes sedimentos arenosos comportam, na parte basal uma camada de conglomerados, constituídas por seixos rolados de quartzo e por arenitos bastante resistentes. Sobrepostas às areias friáveis encontra-se uma cobertura de material detrítico fino, de coloração muito vermelha, de constituição predominantemente argilosa.

Os solos que predominam na superfície da chapada são os Latossolos

Vermelhos-Amarelos e solos concrecionários. Em contraposição, nas áreas mais dissecadas e nas seções inferiores dos vales, os solos são constituídos de Areias Quartzosas.

4.2.1.2- Planalto do Casca

Abrangendo a porção noroeste do planalto dos Guimarães, o Planalto do Casca apresenta relevos de topos convexos e aguçados, em diferentes formas de grandeza e de aprofundamento em quase toda a borda do planalto. Corresponde a uma área que sofreu acentuado rebaixamento erosivo, comportando cotas altimétricas de 350m até 600m. Tem a sudeste as escarpas da Chapada dos Guimarães, enquanto a noroeste e a sudoeste é contornada pela Depressão Cuiabana. No contato com a Chapada, observa-se a presença de anfiteatros erosivos, profundamente entalhados e delimitados por escarpas (Figura 7).

Este planalto foi elaborado, basicamente, em rochas do arenito das Formações Bauru e Botucatu, sobre as quais desenvolveram-se predominantemente solos de Areias Quartosas e Latossolos Vermelhos-Amarelos. As feições geomórficas predominantes são as tabulares e convexas, com interflúvios amplos e canais de drenagem medianamente profundos. Os rios que tem as nascentes na superfície de topo da chapada, a deixam através de vales estreitos e profundos que guardam aspectos de pequenos canyons. Essa densa hidrografia desenvolve-se em vales cataclinais de reverso, sendo a responsável pela acentuada dissecação no relevo deste planalto.

4.2.2- Depressão do Rio Paraguai

Esta unidade corresponde a extensas áreas rebaixadas e drenadas pelos tributários do alto curso do Rio Paraguai. A unidade apresenta diferenças regionais nas formações geomórficas e comporta altimetria distintas, ressaltando dois compartimentos de relevo bem individualizados, descritos como subunidades: Depressão Cuiabana, onde localiza-se a área em estudo, e Depressão do Alto Paraguai.

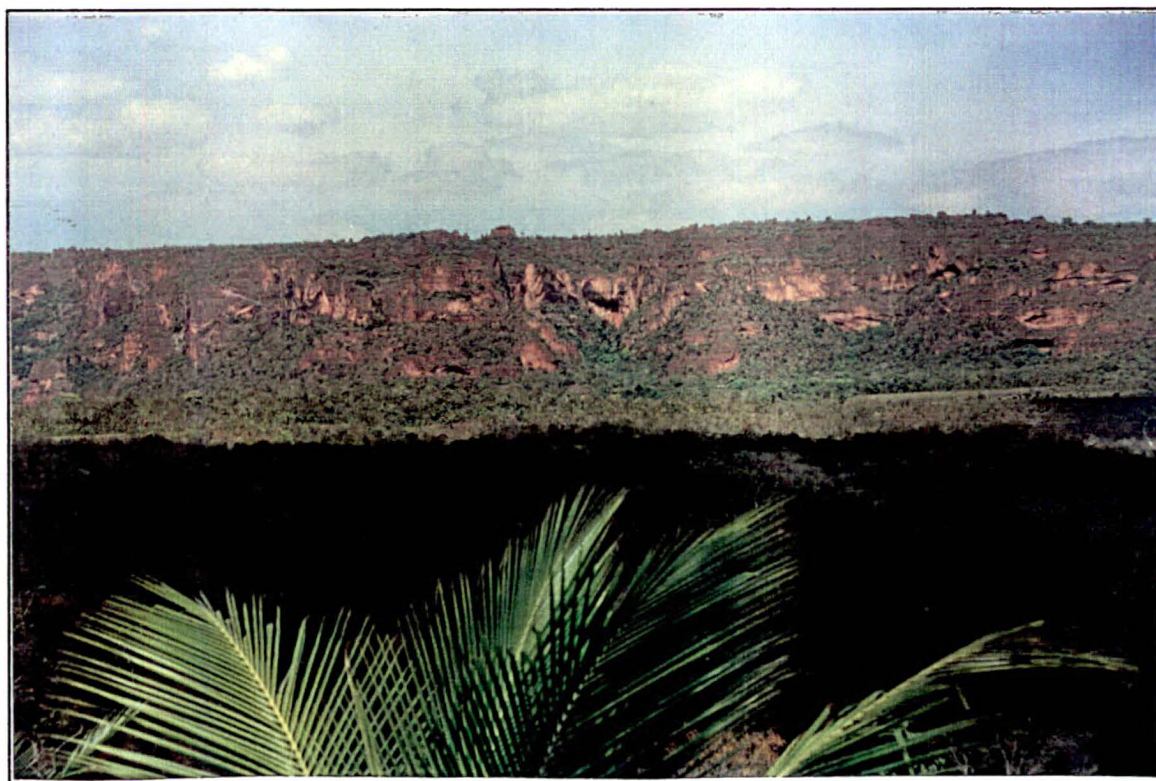


Figura 7 – Escarpa na Chapada dos Guimarães, com presença de escarpas erosivas.

4.2.2.1- Depressão Cuiabana

Compreende uma área rebaixada situada entre o Planalto dos Guimarães e a Província Serrana. Sua topografia, de modo geral, apresenta uma forma rampeada, com inclinação de norte para sul (figura 8). A altimetria varia em torno de 200m até 450m no alto vale do Rio Cuiabá.

Esses relevos foram moldados em litologias do Grupo Cuiabá, representados por filitos, filitos ardorianos, quartzitos, conglomerados e tilitos, que se apresentam encobertas por materiais argilo-arenoso com ocorrência de horizonte concrecionário. A leste e sudeste da cidade de Cuiabá, ocorre extensa área de relevo plano (Epi), que foi moldada em rochas do Grupo Cuiabá e, principalmente, em sedimentos quaternários. Neste trecho há solos tipo Laterita Hidromórfica.



Figura 8 – Área rebaixada da Depressão Cuiabana, vista do mirante, na Chapada dos Guimarães.

As formas de acumulação representadas pelas planícies fluviais (Apf) são encontradas aproximadamente a 50 Km ao sul da cidade de Cuiabá, onde a planície abre-se para o pantanal, apresentando lagos de meandros e canais colmatados, caracterizando o aspecto de acumulação recente destes sedimentos. Ocorrem também áreas deposicionais sujeitas a inundações periódicas (Aai), correspondentes à terminações norte das Planícies e Pantanaís Mato-Grossenses. Isto é observável nas margens dos rios Arica-Açu e Arica-Mirim.

A drenagem sofre forte controle estrutural, assim, tanto os grandes como os pequenos cursos d'água estão muito influenciados pelos direcionamentos estruturais preferenciais (NE-SO) que as rochas do Grupo Cuiabá apresentam. O relevo mostra-se dissecado em formas predominantemente tabulares (t) e secundariamente em formas convexas e aguçadas (c, a). A orientação das rochas se reflete no relevo através de pequenas cristas. Observou-se a existência de veios de quartzo em profusão, sendo mais abundantes onde os relevos se apresentam dissecados em formas aguçadas. Os filitos e quartzitos do Grupo Cuiabá mostram-se truncados por erosão, e nos trechos onde as formas de relevo são predominantemente tabulares ou convexas, o perfil de solo exhibe um horizonte concrecionário que, em geral, apresenta espessura superior a 30cm. Este material constitui-se fundamentalmente de pequenos nódulos ferruginosos, parcialmente cimentados, e em

determinados trechos, encontra-se encoberto por uma camada delgada, constituída de material fino argiloso, com coloração amarelo-avermelhada e que raramente atinge 1m de espessura. Por outro lado, é sobre os filitos que o horizonte concrecionário está mais desenvolvido, e é em função desse concrecionamento que o relevo mantém as formas tabulares e convexas que aí ocorrem.

A área apresenta algumas poucas elevações residuais, que aparecem na depressão com destaque. O Morro de Santo Antônio de Leverger, situado a alguns quilômetros a sul da cidade de Cuiabá, possui altitude em torno de 300m é um exemplo deste tipo de relevo (PCBAP, 1997).

4.2.3 - Planícies e Pantanaís Mato-grossense

No projeto RADAM BRASIL (1982) a grande área de Planícies e Pantanaís Mato-grossense foi dividida em sub-unidades devido à diversidade de fatores morfogenéticos, como altimetria relativa, litologia e pedologia que individualizam cada pantanal. A área em estudo é compreendida na sub-unidade Pantanal Cuiabá-Pedro Gomes-Paraguaizinho, e representa o início do pantanal, no extremo norte desta unidade.

De modo geral, o pantanal é uma extensa superfície de acumulação, de topografia bastante plana e freqüentemente sujeita a inundação, cuja rede de drenagem é comandada pelo Rio Paraguai. Possui altimetria que varia de 80 a 150m e declividade inexpressiva. Segundo o Departamento Nacional de Obras de Saneamento (in RADAM BRASIL, 1982), o gradiente topográfico varia de 0,3 a 0,5m/km, no sentido leste-oeste e de 0,03 a 0,15 m/km no sentido norte-sul. Este fato provoca um barramento do escoamento do rio Paraguai e o conseqüente alagamento da área.

Duas feições geomorfológicas distintas são identificadas nos pantanaís, as planícies e as áreas de acumulação inundáveis. A primeira compreende as planícies fluviais (Apf) ou fluviolacustres (Apfl). Estão modeladas em depósitos aluviais Holocênicos, ao longo dos vales e são caracterizadas por apresentarem diques marginaís, ilhas e lagoas (Figura 9).



Figura 9 – Áreas inundáveis observadas ao longo do Rio Arica-Açu, sob ponte, na BR-364.

Na segunda, as áreas de acumulação inundáveis (Aai), representam uma região intermitentemente inundada, de grande expressão espacial e que não esta subordinada diretamente á drenagem principal. São classificadas em três categorias, segundo o grau de umidade, manifestado em forma crescente: Aai1, única categoria encontrada na área em estudo, corresponde normalmente a locais onde o alagamento ocorre na época de cheias ‘médias’ ou ‘extraordinárias’, entre novembro e abril; Aai2 corresponde a locais onde o alagamento é um pouco mais prolongado; Aai3 corresponde a locais onde o alagamento persiste praticamente o ano todo.

As áreas de acumulação inundáveis encontram-se relacionadas às variações topográficas e à presença ou não de horizonte diagnóstico subsuperficial de textura média a argilosa. Assim, as áreas Aai1 ocorrem predominantemente em locais de maior altitude (150-180m), distantes do eixo da drenagem e onde o horizonte diagnóstico subsuperficial apresenta textura arenosa, o que favorece rápida infiltração, ocasionando o não encharcamento prolongado da área.

4.3 – Aspectos Pedológicos

A diversificação das feições geomórficas, dos tipos de vegetação e das litologias é em grande parte responsável pela grande variação dos solos verificados na área em estudo. Na Chapada dos Guimarães, correspondente a extensa área de relevos aplanados, a superfície foi moldada, principalmente, nos sedimentos do Terciário Quaternário e Cobertura Detrítica Laterítica, onde originaram Latossolos Vermelho Amarelo. Nos arenitos da Formação Bauru originaram as Areias Quartzosas, estando estas com ocorrências restritas às partes mais dissecadas desta superfície.

As Areias Quartzosas podem se formar também a partir das rochas da Formação Botucatu, onde ocorre também, nas partes mais conservadas, manchas de Latossolo Vermelho Amarelo. Nas serras constituídas por relevos residuais, formam-se Solos Concrecionários e Solos Litólicos.

Estes também são encontrados na Depressão Cuiabana, onde os relevos foram moldados em litologias do grupo Cuiabá, que originam nos relevos de formas tabulares os Solos Concrecionários, e em relevos de formas aguçadas, os Solos Litólicos. Mais raramente, em áreas conservadas são encontrados também Latossolo Vermelho Amarelo e Podzólico Vermelho Amarelo.

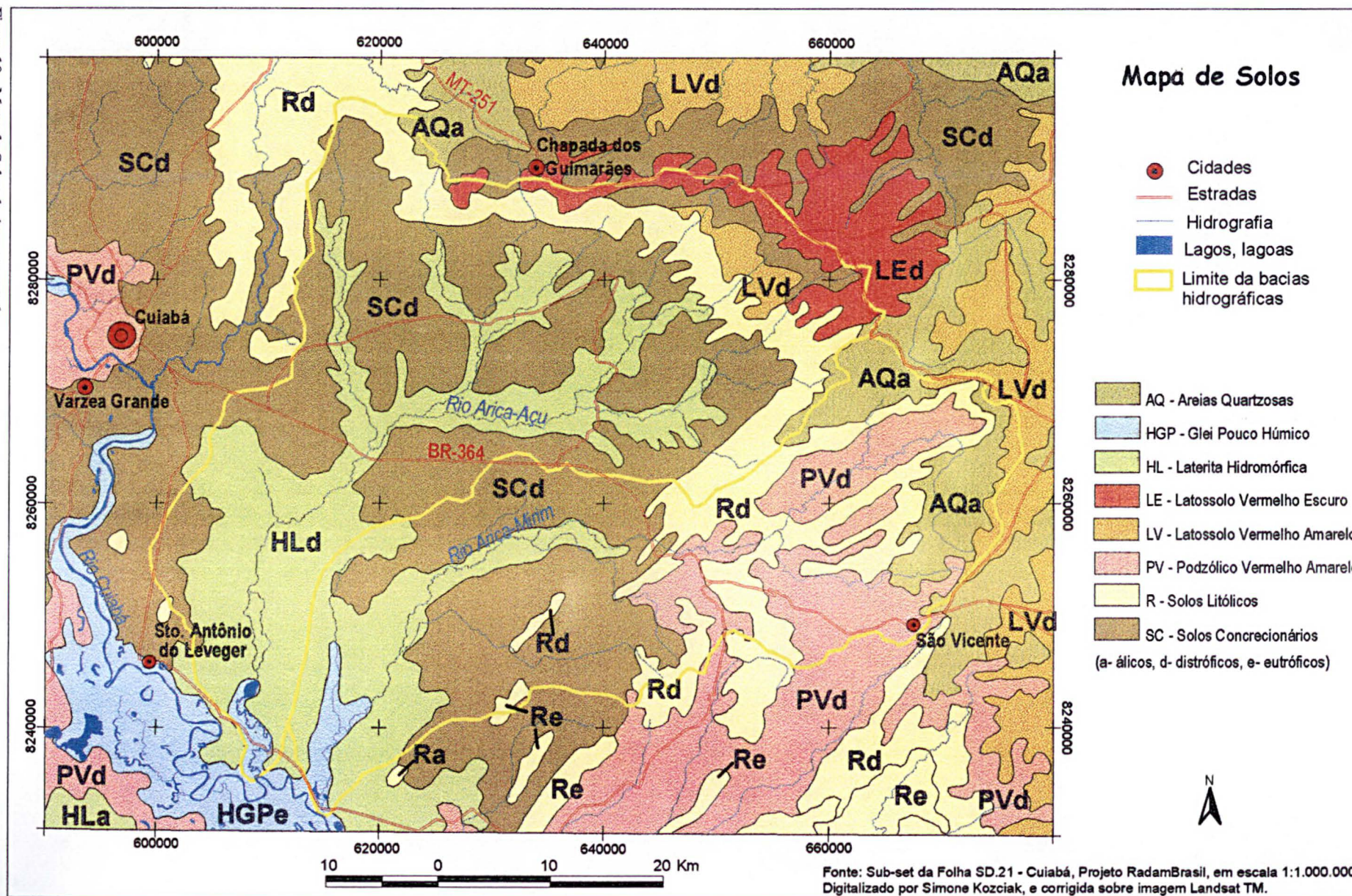
A sudoeste da área, onde ocorre relevo aplanado, moldado principalmente em sedimentos quaternários, há ocorrência de solos hidromórficos, como Laterita Hidromórfica, entre outros. A unidade Planícies e Pantanaís Mato-grossense é geologicamente caracterizada por Aluviões Atuais, e o solo encontrado nessa região é Glei Pouco Húmico (Figura 10).

Uma descrição geral de cada solo encontrado na área em estudo é descrito a seguir.

4.3.1- Latossolo Vermelho Escuro - LEd

Esta classe compreende solos minerais, não-hidromórficos, altamente intemperizados, que se caracterizam por possuírem horizonte B latossólico de cor avermelhada, com teores de Fe_2O_3 entre 8 e 18%, quando argilosos ou muito argilosos, e normalmente inferiores a 8% quando de textura média, e com atração magnética fraca ou nula (CAMARGO et al., 1987; EMBRAPA, 1988). São solos normalmente muito profundos, com espessura do solum raramente inferior a dois metros, de elevada permeabilidade e em geral

Figura 10 - Mapa de Solos da área em estudo.



bem a acentuadamente drenados. Apresentam seqüência de horizontes do tipo A, Bw, C, com reduzido incremento de argila em profundidade.

Constituem características marcantes destes solos, baixos teores de sílica e ausência de minerais primários pouco resistentes e reduzida susceptibilidade à erosão.

Os solos dessa classe desenvolvem-se em relevo que vai do plano ao suavemente ondulado. São formados a partir de sedimentos do Terciário-Quaternário e das formações Botucatu, Bauru, Ponta Grossa e Furnas (RADAM BRASIL, 1982). Na área em estudo aparecem no extremo norte da bacia do Rio Arica-Açu, envolvidos pelos solos Concrecionários, não abrangendo a bacia do rio Arica-Mirim.

Apresentam horizonte A moderado, caráter álico ou distrófico e textura bastante variável, desde média a muito argilosa. A principal limitação ao uso agrícola desses solos refere-se à baixa fertilidade natural e ocorrência de alumínio trocável em níveis tóxicos nos solos álicos, o que requer aplicação de corretivos e fertilizantes para viabilizar sua exploração agrícola. Não obstante, as condições topográficas em que ocorrem, aliadas à grande espessura, elevada permeabilidade e ausência de impedimentos à mecanização conferem-lhes excelente potencial para utilização intensiva.

4.3.2- Latossolo Vermelho Amarelo - LVd

Compreende solos com horizonte A fraco a moderado e B latossólico. São solos de perfis profundos, fertilidade natural baixa e saturação de bases baixa nos solos distróficos e raramente com saturação de média a alta, caracterizando os solos eutróficos desta unidade (CAMARGO, 1975).

Nesta classe estão compreendidos solos minerais não-hidromórficos, caracterizados por possuírem horizonte B latossólico, virtualmente sem atração magnética, associadas a teores de Fe_2O_3 relativamente baixos, normalmente entre 7 e 11%, (CAMARGO et al., 1987; EMBRAPA, 1988). São solos em geral muito profundos, de elevada permeabilidade, bem a acentuadamente drenados, apresentando seqüência de horizontes A, Bw, C, com reduzido incremento de argila em profundidade.

São formados a partir de rochas das formações Botucatu, Ponta Grossa e Grupo Cuiabá. À semelhança dos Latossolos Vermelho-Escuros, aos quais muitas vezes encontram-se associados na paisagem, aparecem em áreas de planalto e depressões que contornam o Pantanal, em relevo plano e suave ondulado. Ocupam, no entanto, áreas bem menos

expressivas que aqueles.

Apresentam horizonte A moderado, textura média ou argilosa e conteúdo de bases trocáveis muito baixo, por vezes com saturação por alumínio elevada, e reside na baixa fertilidade natural a sua principal limitação ao uso agrícola. Devido às suas boas condições físicas e topográficas são também aptos à utilização intensiva, mas práticas conservacionistas devem ser empregadas para possibilitar uma produção continuada, minimizando os riscos de degradação, sobretudo nos solos com maiores conteúdos de areia.

Na área em estudo encontram-se somente no Planalto dos Guimarães, ao norte e no extremo oeste das bacias.

4.3.3- Areias Quartzosas - AQa

Nesta classe estão compreendidos solos minerais não-hidromórficos, pouco evoluídos, de textura arenosa em toda a extensão do perfil e sequência de horizontes A, C.

Apresentam horizonte A moderado e horizonte C de cores claras e avermelhadas, em função do material de origem. São permeáveis, excessivamente drenados e sem estrutura desenvolvida, ou muito fracamente, sendo assim constituídos basicamente por grãos simples. São também muito baixos os valores de soma de bases, além de, na maioria das vezes, ser elevada a saturação por alumínio.

Esses fatores, aliados à baixa capacidade de retenção de umidade, intensa lixiviação e elevada susceptibilidade à erosão, sobretudo quando sujeitos a fluxo concentrado de água, que pode provocar a instalação de grandes voçorocas, tornam estes solos praticamente inviáveis para uso agrícola, sendo sua utilização restrita a pastagens, desde que bem manejadas. Assim como os Latossolo Vermelho Amarelo, encontra-se somente na região dos Planaltos, no extremo oeste da área estudada.

4.3.4- Solos Litólicos (Ra, Rd, Re)

Solos litólicos ou litossolos caracterizam-se pela ausência de um horizonte B no perfil. São constituídos por solos onde um horizonte A, por vezes chernozêmico, moderado ou mais freqüentemente fraco, repousa diretamente sobre a rocha, ou mesmo sobre um horizonte C em evolução. São bastante rasos e de textura e fertilidades variáveis (distróficos e eutróficos), dependendo da rocha matriz. Como material de origem desses solos aparecem

granitos, gnaisses, arenitos, efusivas básicas, etc.

Quanto à sua distribuição na área em estudo, estão relacionados a locais com relevo movimentado, encontrando-se na região de escarpas da Chapada dos Guimarães e no alto curso do Rio Ariça-Mirim, onde o relevo é bem movimentado e é intensa a densidade de canais de 1ª ordem.

Os solos álicos (Ra) e distróficos (Rd) localizam-se em litologias das formações Botucatu e Furnas e do Grupo Cuiabá. Os eutróficos (Re) têm maior expressão no Planalto dos Guimarães, referentes às litologias da Formação Palermo e a intrusivas básicas do Complexo Xingu (RADAM BRASIL, 1982).

Quanto às possibilidades de uso, esta classe apresenta uma série de limitações naturais, como topografia desfavorável para mecanização, pequena profundidade e em muitos casos, presença excessiva de cascalhos e/ou concreções, que funcionam como impedimento ao desenvolvimento de raízes, além das limitações de ordem química no caso dos álicos e distróficos.

Tendo em vista a magnitude dos problemas que apresentam, a preservação da fauna e da flora constitui a recomendação para estes solos, embora em alguns casos possam ser aproveitados com restrições para pastagem e/ou silvicultura.

4.3.5- Gleis Pouco Húmicos - HGPe

Esta unidade é representada por solos formados a partir de deposições recentes, mal drenados, fortemente ácidos quando distróficos, pouco profundos e de textura argilosa dominante. A saturação e conteúdo de bases trocáveis nesses solos são bastante variáveis, desde baixos (solos distróficos) a elevados (solos eutróficos) e estão relacionados à natureza e à idade dos sedimentos dos quais foram desenvolvidos e à qualidade da água que os saturam. Esta classe compreende solos minerais, hidromórficos, que apresentam horizonte glei subjacente a horizonte A do tipo moderado (CAMARGO et al., 1987) ou mesmo fraco.

São característicos de locais planos e abaciados, sujeitos a alagamentos constantes ou periódicos. Na área em estudo encontram-se margeando o Rio Cuiabá. As condições anaeróbicas, resultantes da má drenagem do perfil, dão ao solo características de intensa gleização, resultantes dos processos de redução que se intensificam nestas condições.

São originados a partir de sedimentos recentes, referidos ao Quaternário, normalmente constituídos por camadas sedimentares de natureza heterogênea. Assim, suas

características são muito diversificadas, com ocorrência de textura desde média a muito argilosa, argila de atividade alta ou baixa e caráter álico, distrófico ou eutrófico (RADAM BRASIL, 1982).

4.3.6- Solos Concrecionários - SCd

Sob esta denominação estão agrupados solos que apresentam em sua constituição mais de 50% em volume de concreções ferruginosas, à exceção daqueles que possuem sequência do tipo A, C com profundidade inferior a 50cm, enquadrados na classe dos Solos Litólicos (RADAM BRASIL, 1982).

O horizonte A moderado é o mais encontrado, com raros casos de A proeminente. Quanto ao horizonte B, os mais comumente encontrados são horizontes B latossólico, horizonte B textural e B incipiente, todos com quantidades elevadas de concreções ferruginosas do tamanho predominante de cascalho, chegando em alguns solos ao tamanho de calhaus. Foram identificados também solos com sequência de horizontes A, C.

Possuem baixa fertilidade natural (distróficos) e em virtude destas características, e do forte impedimento à mecanização imposto pela abundância de frações grosseiras em sua constituição, e não obstante, ocupem áreas de relevo pouco movimentado, a utilização com pastagem é a forma de aproveitamento agrícola mais intensiva possível.

Ocorre nas proximidades de Cuiabá, onde estão relacionados a rochas do Grupo Cuiabá, e em áreas nas partes dissecadas do Planalto dos Guimarães sobre cobertura detrito-laterítica do Terciário-Quaternário e litologias das Formações Ponta Grossa, Bauru e Botucatu (RADAM BRASIL, 1982).

4.3.7- Podzólico Vermelho-Amarelo - PVd

São solos bem desenvolvidos, bem drenados, normalmente ácidos e que possuem um horizonte A fraco ou moderado sobre um horizonte B textural, contendo argila de baixa atividade. Nesta classe estão compreendidos solos minerais, não-hidromórficos, com horizonte B textural de cores vermelhas a amarelas e teores de Fe_2O_3 normalmente inferiores a 11%. Apresentam sequência de horizontes A, Bt, C ou A, E, Bt, C (CAMARGO et al., 1987).

Encontrados desde as áreas de planalto à Depressão Cuiabana, são desenvolvidos a partir de litologias bastante diversificadas, apresentam grande variação nas características físicas, químicas e morfológicas. A textura é em geral arenosa/média e média/argilosa, em alguns casos com presença de cascalhos, sendo muito conspícuo o caráter abrupto. São profundos ou pouco profundos, verificando-se com menor frequência solos rasos. Quanto à saturação por bases, são álicos, distróficos ou eutróficos, sendo que, na área estudada é encontrado somente distróficos que requerem calagem e adubação para minimizar o efeito tóxico do alumínio e corrigir a baixa fertilidade natural.

Os solos formados a partir do Grupo Paraná - Formação Ponta Grossa - apresentam horizonte A moderado ou chernozêmico, com ou sem cascalhos e/ou concreções, argila de atividade alta e baixa (RADAM BRASIL, 1982). Os solos originados a partir da Formação Pantanal ocorrem sob vegetação de floresta, em áreas pouco elevadas, dentro do Pantanal Mato-Grossense. São solos profundos e apresentam saturação com sódio superior a 5% nos horizontes inferiores.

O relevo em que se situam, geralmente, não constitui impedimento à mecanização, mas práticas conservacionistas devem ser efetuadas para minimizar os efeitos erosivos, principalmente naqueles com caráter abrupto, devido à sua elevada susceptibilidade à erosão. São solos de fertilidade média, e de textura que vai de média a argilosa.

4.3.8- Laterita Hidromórfica – Hla, HLd

São representativos desta classe solos minerais hidromórficos, profundos, com baixa permeabilidade, que se caracterizam principalmente por apresentarem um horizonte A do tipo moderado sobrejacente a um horizonte plântico.

Apresentam sequência de horizontes A, Bpl ou Btpl, C, estando o horizonte plântico localizado abaixo do A ou dentro dos 30 primeiros centímetros do horizonte B. São constituídos predominantemente por argilas caulínicas, apresentando teores elevados de sesquióxidos e argila de atividade baixa.

Geralmente estão associados a sedimentos recentes do Quaternário. A Laterita álica se encontra a sudoeste da área, em pequena proporção estando relacionadas a unidade Planícies e Pantanaís Matogrossenses. Apresentam na quase totalidade textura média, e a estrutura do horizonte A é na maioria fraca, do tipo granular, e no B é maciça. As distróficas tem ocorrência maior na área, margeando os principais rios das bacias estudadas. O horizonte

plântico, quando seco, é duro ou extremamente duro, quando úmido é firme ou muito firme e, quando molhado, varia de ligeiramente plástico a plástico e ligeiramente pegajoso a pegajoso.

São típicos de relevo plano e suave ondulado em áreas com lençol freático elevado, sujeitas a inundação, o que constitui um fator impeditivo a sua utilização agrícola, por dificuldades de acesso, manejo, susceptibilidade a erosão e mau desenvolvimento de raízes.

Capítulo II

1. Erosão dos Solos

A erosão do solo constitui, sem dúvida, a principal causa de depauperamento acelerado de terras. É o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo e, no seu aspecto físico, é simplesmente a realização de uma quantidade de trabalho no desprendimento do material de solo e no seu transporte (BERTONI e LOMBARDI, 1985).

Segundo os autores acima citados, o processo erosivo começa quando as gotas de chuva embatem a superfície do solo e destroem os agregados, terminando com as três etapas seguintes: (a) as partículas do solo se soltam; (b) o material desprendido é transportado; (c) esse material é depositado. Nas duas primeiras etapas, o resultado não pode ser expresso em unidades, na terceira, pode ser expresso em peso ou volume por unidade de área, tal como toneladas por hectare.

A erosão causada pela água pode ser laminar, em sulcos ou voçorocas, podendo ocorrer simultaneamente no mesmo terreno. A erosão laminar é um dos processos de erosão hídrica mais comum, e se refere a erosão que ocorre de forma difusa, erodindo, teoricamente, uma lamina homogênea de solo. Ocorre quando há a remoção de camadas delgadas de solo sobre toda uma área. Em dias de chuva, as enxurradas tornam-se barrentas, os solos, por sua ação, tomam coloração mais clara, e a produtividade vai diminuindo progressivamente.

A avaliação da erosão laminar nos interflúvios pode ser feita através do estudo da distribuição espacial dos principais fatores responsáveis pela erosão provocada pelas chuvas, tais como são definidos na Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS). Essa equação foi desenvolvida como um método para estimar a média anual de perda de solo decorrente da erosão hídrica para uma parcela agrícola. WILLIAMS (1975), adaptou os procedimentos de obtenção dos índices desta equação para bacias hidrográficas.

A Equação Universal de Perdas do Solo exprime a ação dos principais fatores que sabidamente influenciam a erosão pela chuva a nível de vertentes. Trata-se de um modelo empírico, e dá a perda média anual do solo, oriunda da erosão laminar nas vertente, em função de 6 fatores independentes ou seja:

$$A = R.K.(L.S.)C.P.$$

Onde:

- A= perda média anual de solo por unidade de área (ton/ha.ano) ;
- R= fator chuva: índice de erosão da chuva e da enxurrada (MJ.mm/ha.h.ano);
- K= fator erodibilidade do solo: intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva, para um solo específico que é mantido continuamente sem cobertura, mas sofrendo as operações culturais normais, em um declive de 9% e comprimento de rampa de 25 m (t.ha.h/ha.MJ.mm);
- L = fator comprimento da vertente: relação de perdas de solo entre um comprimento de vertente qualquer e um comprimento de vertente de 25m para o mesmo solo e mesmo grau de inclinação;
- S = fator de declividade da vertente: relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9% para o mesmo solo e comprimento de rampa;
- C = fator de uso e manejo do solo: relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto, isto é, nas mesmas condições em que o fator K é avaliado;
- P = fator de práticas conservacionistas: relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo.

2. Aplicação da EUPS

Os valores de cada parâmetro da EUPS foram aplicados em mapas vetoriais elaborados no Arc/Info® com uso da metodologia descrita anteriormente. O software possibilitou operações de conversão de dados, sobreposição de mapas, operações matemáticas, reclassificação dos dados e geração do Modelo Digital do Terreno.

Todos os mapas temáticos elaborados para o presente trabalho apresentam feições poligonais, onde cada polígono é atribuído de um valor referente aos parâmetros da Equação. Estes mapas foram sobrepostos e, através de operações matemáticas, os valores poligonais foram multiplicados para se ter como resultado o valor de A em ton./ha.ano.

A metodologia empregada para a geração de cada mapa temático (coverage) utilizado para a multiplicação dos fatores é descrita a seguir.

2.1 - Fator (R) – Chuva

O fator R é um índice numérico e representa uma medida da força erosiva da chuva, em uma área sem proteção, expresso no índice EI_{30} . O cálculo envolve a energia cinética de um evento de chuva (E_c) e sua intensidade máxima em 30 minutos de duração (I_{30}). O fator R é a somatória dos I_{30} para todos os eventos de chuva dentro do período para o qual deseja-se calcular a perda do solo, podendo ser, por exemplo, de um mês, um ano ou décadas.

A chuva provoca erosão pelo impacto das gotas de água sobre a superfície do solo e através de fluxo concentrado das águas de escoamento superficial. Sua ação erosiva depende da distribuição pluviométrica do evento chuvoso (chuva acumulada e intensidade da chuva). Chuvas torrenciais de grande intensidade, precedidas por período chuvoso anterior, que levou à saturação do solo, provocam eventos erosivos de grande velocidade de propagação, nos locais onde o regime de escoamento das águas é concentrado, com altos valores de vazão. O índice que expressa a capacidade da chuva provocar erosão é conhecido como erosividade, sendo um importante parâmetro para a quantificação de perdas de solo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1985).

Os valores de erosividade da chuva para a área em estudo foram adquiridos do Projeto PCBAP (Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai)-1997, com base em dados

de 140 estações pluviométricas distribuídas na região da Bacia do Alto Paraguai. Desses postos, segundo PCBAP (1997), alguns foram eliminados por apresentarem poucos anos de observação, outros por apresentarem erros no registro dos dados. Partindo das coordenadas dos postos e do valor da erosividade e com auxílio de métodos de interpolação (Kriging) gerou-se uma matriz regular da erosividade da Bacia do Alto Paraguai (Figura 11). A partir destes dados gerou-se o mapa de isoerodentes da região estudada (figura 12), que foi obtido mediante processos de reclassificação por intervalos.

Para se ter os dados no Sistema Internacional de Unidades (FOSTER et al., 1981 e WISCHMEIER et al., 1958), os valores fornecidos pelo PCBAP foram multiplicados por 10, obtendo assim valores que variam de 7000 à 9000 MJ.mm/ha.h.ano na região em estudo.

A análise de dados pluviográficos de uma série de 13 anos (1973 a 1985) da Estação Meteorológica de Várzea Grande, MT, realizada por ALMEIDA et al. (1995) permitiu determinar que o pico da estação chuvosa em Cuiabá se concentra no período de novembro a março, gerando processos erosivos intensos. Os autores concluíram que o potencial erosivo das chuvas que ocorrem em Cuiabá é elevado e típico de regiões tropicais.

O fato agravante, segundo PCBAP (1997) é que as chuvas mais intensas, ou seja, de alta erosividade, ocorrem nas épocas em que as áreas agrícolas apresentam seus solos arados e gradeados, quase totalmente desprotegidos, em decorrência do estágio cultural apresentar baixo índice de cobertura vegetal, permitindo o impacto direto das gotas da chuva sobre os solos, promovendo maior erodibilidade dos mesmos.

Na tabela do mapa poligonal de isoerodentes foi acrescentado o *item fator-R*, onde para cada polígono foi atribuído o valor correspondente de erosividade.

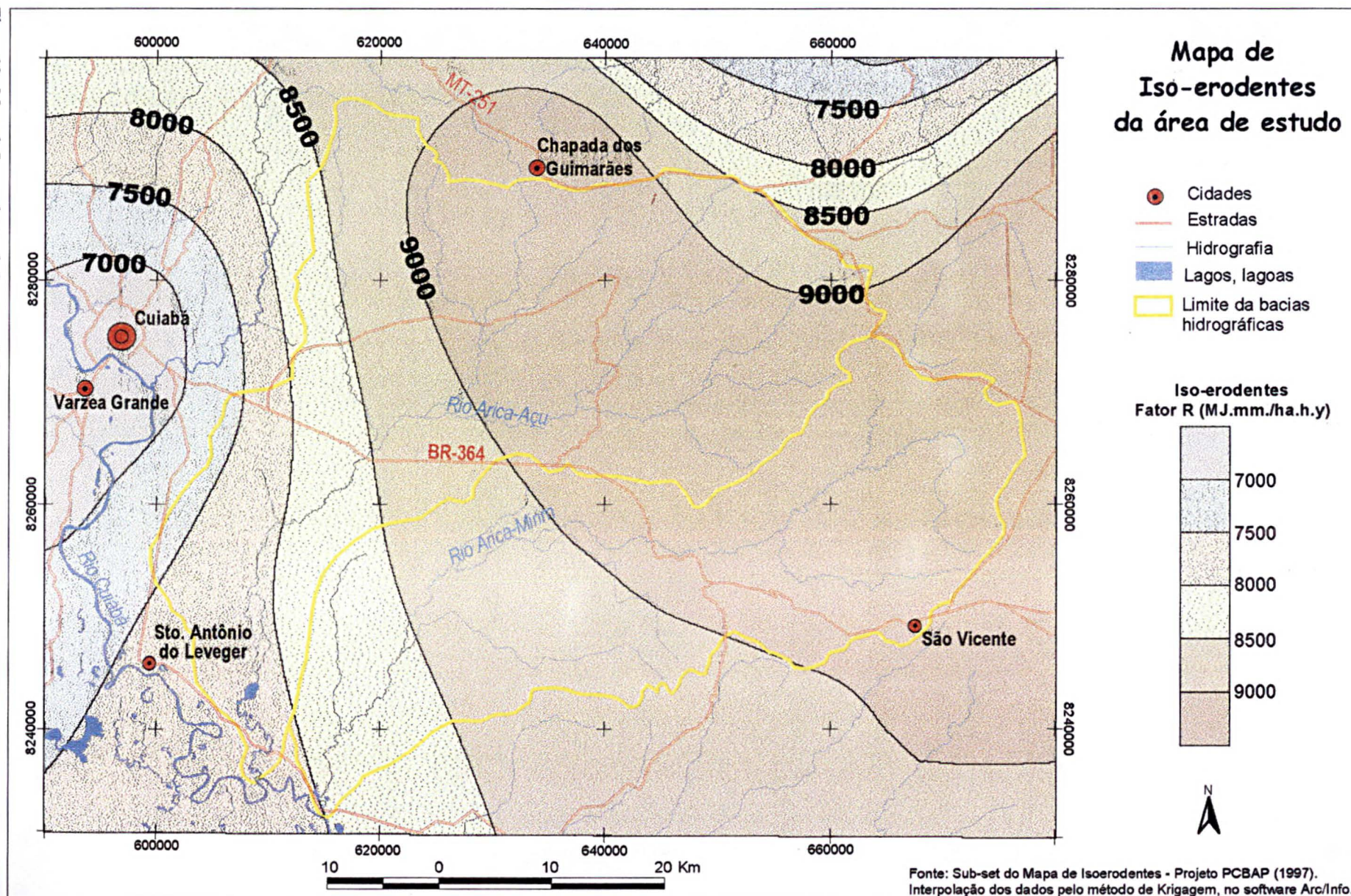
2.2 - Fator (K) – Erodibilidade do solo

Erodibilidade é a propriedade dos solos que reflete a sua maior ou menor susceptibilidade à erosão, podendo ser definida como a quantidade de material que é removido por unidade de área, quando os demais fatores determinantes da erosão são mantidos sob condições padrão (FREIRE et al. 1992). Essa propriedade depende da interação de outras propriedades, tais como permeabilidade, textura, grau de agregação, teor de matéria orgânica, resistência ao cisalhamento, retenção e transmissão de água, entre outras de menor importância.



Figura 11 - Mapa de Curvas Iso-erodentes da Bacia do Alto Paraguai (PCBAP, 1997)

Figura 12 - Mapa de Iso-erodentes da área em estudo.



A erodibilidade do solo representa o efeito integrado dos processos que regulam a infiltração da água e a resistência do solo à desagregação e transporte de partículas. É o fator que tem despertado maior interesse na pesquisa de erosão pelo fato de estar diretamente relacionado às propriedades do solo e, sendo assim, varia significativamente de solo para solo. Este fator reflete o fato de que solos de diferentes tipos são erodidos com velocidades diferentes, mantidos constantes todos os outros fatores intervenientes no processo erosivo.

O significado de erodibilidade do solo é diferente de erosão do solo. A intensidade de erosão de uma área qualquer pode ser influenciada mais pelo declive, características das chuvas, cobertura vegetal e manejo, do que pelas propriedades do solo. Contudo, alguns solos são mais facilmente erodíveis que outros, mesmo quando o declive, a precipitação, a cobertura vegetal e as práticas de controle de erosão são as mesmas. Essa diferença, devida às propriedades inerentes ao solo, é referida como erodibilidade do solo (BERTONI e LOMBARDI, 1985).

No estudo de bacias hidrográficas com áreas de dezenas de quilômetros quadrados, a determinação da erodibilidade diretamente no campo (métodos diretos) por meio de chuvas simuladas ou naturais, é quase impraticável, pois exigiria a montagem de diversos experimentos, anos de observação e uma rigorosa padronização, com custos bastante elevados. Por essa razão, vários processos indiretos (métodos indiretos) para a determinação da erodibilidade têm sido elaborados, com base nas propriedades físicas e químicas dos solos.

A erodibilidade dos solos é medida através de um índice K, estando seu valor associado a características intrínsecas do solo, representadas principalmente por relações entre os diferentes intervalos granulométricos, teor de matéria orgânica, grau de estruturação e grau de permeabilidade do solo.

O projeto PCBAP (1997) fez a avaliação dos parâmetros de erodibilidade do solo a partir do levantamento de solos de RADAM BRASIL (1982). Foi definido para cada tipo de solo um grau de erodibilidade a partir das classificações por WISCHMEIER e SMITH (1958), BERTONI e LOMBARDI (1985), *apud* IPT (1991) e ROSS (1993). A tabela a seguir apresenta a relação do índice K para os solos encontrados na área estudada. Para que se pudesse trabalhar em Sistema Internacional de Unidades, os valores de K foram divididos por 10, e expressos em t.ha.h/ha.Mj.mm.

Solos	Fator K (t.h.m ²)/(ha.hj.cm)	Fator K (t.ha.h./ha.MJ.mm.)	Grau
R - Litólicos	0,50	0,050	MF
AQ – Areias Quartzosas	0,45	0,045	MF
LV – Latossolo Vermelho Amarelo	0,16	0,016	B
SC – Solos Concrecionários	0,12	0,012	B
PV – Podzólico Vermelho Amarelo	0,32	0,032	F
HGP – Glei Pouco Húmico	0,01	0,001	MB
HL – Laterita Hidromórfica	0,08	0,008	MB
LE – Latossolo Vermelho Escuro	0,16	0,016	B

Tabela 1- Valores de erodibilidade (K) dos solos da área em estudo, segundo PCBAP, 1997.
(MB - muito baixo; B – baixo; M – moderado; F – forte; MF - muito forte.)

Estes dados foram atribuídos ao mapa de solos (figura 10), já descrito anteriormente. Na tabela foi adicionado o *item fator-K*, onde para cada polígono de solo foi atribuído o valor correspondente.

Apresentam índices de erodibilidade alta os solos Litólicos, Areias Quartzosas e Podzólico Vermelho Amarelo, com fator K acima de 0,030. Estes ocupam áreas significativas na bacia Arica-Mirim, representando 48% do total. Destes solos, somente os Litólicos apresentam-se na bacia do Rio Arica-Açu, estando presentes na escarpa da Chapada.

Os solos Latossolo Vermelho Amarelo, Solos Concrecionários e Latossolo Vermelho Escuro apresentam índices de erodibilidade baixo, com fator K variando entre 0,010 e 0,020. O Latossolo Vermelho Amarelo encontra-se no extremo norte e extremo leste da área de estudo. Os Solos Concrecionários abrangem quase completamente a região da Depressão Cuiabana, ao centro da área de estudo, e também o extremo norte, na região do Planalto e representa 45 % da bacia do Rio Arica-Açu e 31 % da bacia do Rio Arica-Mirim. Os Latossolo Vermelho Escuro encontram-se somente ao norte da bacia do Rio Arica-Açu.

Os solos Gleí Pouco Húmico e Laterita Hidromórfica apresentam índices de erodibilidade muito baixo, inferior a 0,01. Encontram-se na região de planícies e Pantanaís Matogrossense, sendo o Gleí Pouco Húmico encontrado na zona de inundação do Rio Cuiabá. O solo Laterita Hidromórfica encontra-se margeando os rios principais da bacia Arica-Açu, chegando até o início da Chapada, mas estando inteiramente na região de depressão.

2.3 - Fator (LS) – Fator Topográfico

O fator topográfico é constituído por duas variáveis do relevo que modificam a ação exercida pela água pluvial: o comprimento das encostas e o declive. Estas variáveis interferem diretamente na velocidade do escoamento superficial das águas pluviais. O comprimento da encosta é definido como a distância que vai do ponto de origem do escoamento superficial até o ponto onde o escoamento atinge um canal bem definido, integrante de uma rede de drenagem (WISCHMEIER & SMITH, 1958).

Experiências têm demonstrado que o aumento do comprimento das encostas age no sentido de acelerar a erosão dos solos. Na medida que são mais longas, aumentam o volume de água que escoar através de uma seção transversal da vertente e, evidentemente, sua capacidade de remover detritos. Os terrenos com maiores declividades e maiores comprimentos de rampa apresentam maiores velocidades do escoamento superficial e, conseqüentemente, maior capacidade erosiva, mas uma encosta com baixa declividade e comprimento de rampa grande, também pode ter alta intensidade erosiva, desde que sujeita à grande vazão do escoamento das águas superficiais.

Os efeitos do comprimento do declive e seu gradiente, são representados na equação de perda de solo por L e S respectivamente. Para a aplicação prática da equação, são considerados conjuntamente como um fator topográfico LS. Este fator é a relação esperada de perdas de solo por unidade de área em um declive qualquer em relação às perdas de solo correspondentes de uma parcela unitária de 25 m de comprimento com 9% de declive.

Tendo em vista que um valor constante da declividade de um vertente tende a superestimar ou subestimar a erosão, KOK et al., (1995), tomaram um valor médio de declividade para o cálculo do fator LS da equação da USLE, dentro do projeto CORINE Land Cover – Coordination of Information on the Environment, na aplicação da equação, na Espanha. Segundo os autores, os valores medidos foram calculados a partir de relações estabelecidas entre comprimento da vertente e gradiente, encontrados na literatura. O fator medido para diferentes classes de declividade estão representados na tabela a seguir:

Classe de declividade (%)	Fator LS
0-5	0,5
5-15	3,5
15-30	9
>30	16

Tabela 2 – Fator LS em função de classes de declividade (KOK et al., 1995)

Para obtenção do fator LS, primeiramente foi criado o Modelo Digital do Terreno (figura 13), utilizando o comando Topogrid do Arc/Info® que utiliza um método de interpolação especificamente projetado para criar modelos digitais do terreno hidrologicamente corretos. O comando utiliza o método do Inverso do Quadrado da Distância (IQD) juntamente com Spline. A escolha por este método foi por apresentar os melhores resultados em comparação com o mapa original, conforme discutido em KOZCIAK, et al. (1999), que realizaram uma comparação entre os métodos de interpolação para construção de Modelos Digitais do Terreno.

A partir do MDT, obteve-se o mapa de declividade (figura 14), que indica o valor percentual da inclinação da vertente. Este mapa é calculado automaticamente pelo sistema. Através de reclassificação, foi gerado um mapa poligonal de declividade com as classes sugeridas na tabela. Para cada polígono classificado foi atribuído o *fator-LS* correspondente.

Como podemos perceber no mapa, as duas bacias apresentam uma grande área com declividade inferior a 5%, representando 83% do total da área da bacia do Arica-Açu, e 68% da bacia do Arica-Mirim. A segunda bacia apresenta um relevo mais movimentado com declividade entre 5 e 30% representando 28% do total, sendo que na primeira bacia, este intervalo de declividade representa somente 10% do total. Porém, a bacia do Arica-Açu apresenta maior área com declividade superior a 30%, na escarpa da chapada.

2.4 - Fator (CP) – Uso e Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas

O fator uso e manejo do solo (C) é a relação esperada entre as perdas do solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto e cultivado (WISCHMEIER & SMITH, 1965). Pelo fato

Figura 13 - Mapa de Altimetria da área em estudo.

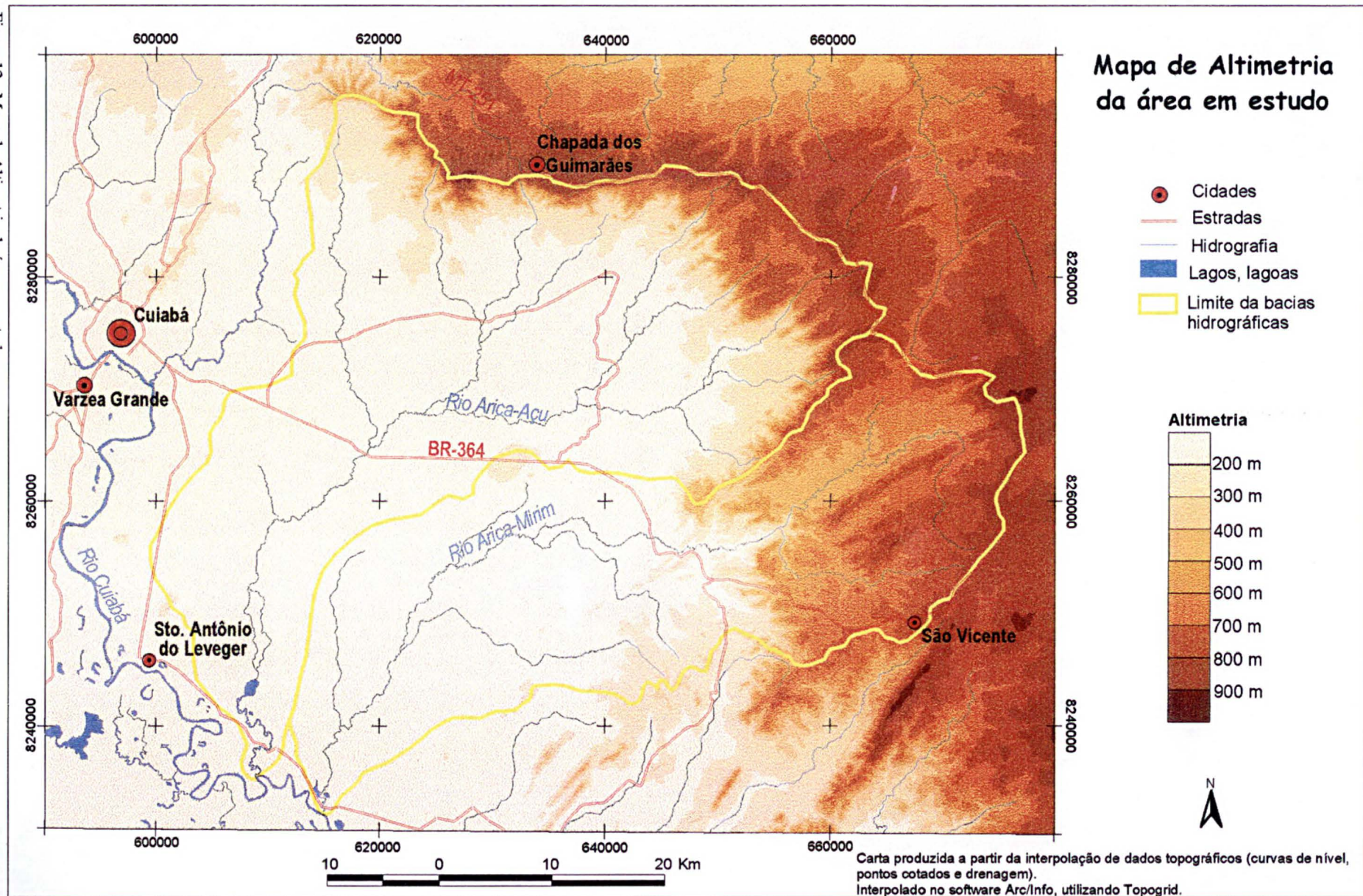
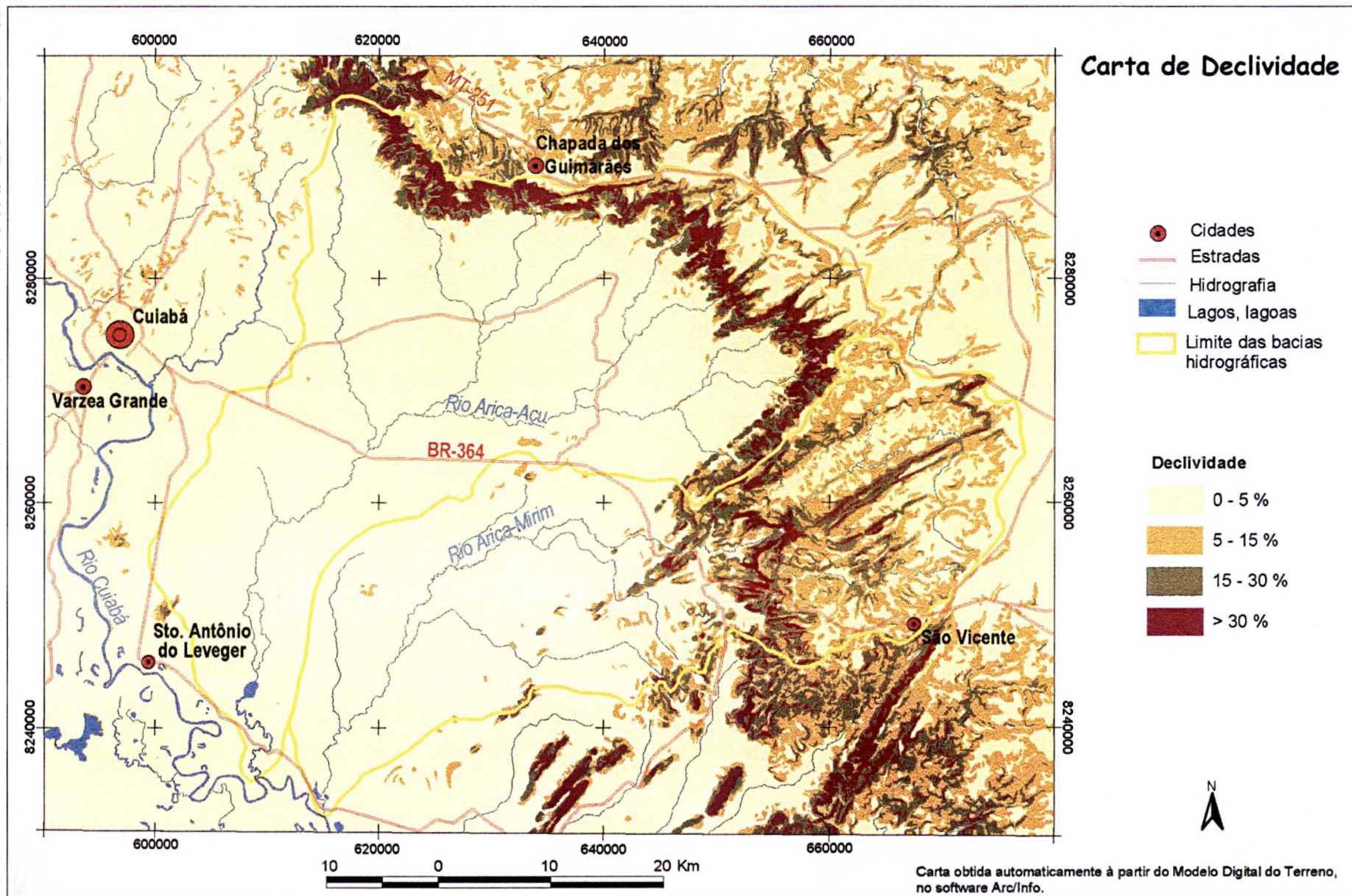


Figura 14 - Carta de Declividade da área em estudo.



de combinar os efeitos na erosão das variáveis uso e manejo do solo e, por serem interrelacionadas, estas variáveis não podem ser avaliadas independentemente.

O fator práticas conservacionistas (P) da equação é a relação entre a intensidade esperada de perdas de solo com determinada prática conservacionista e aquelas quando a cultura esta plantada no sentido do declive (morro abaixo).

Os fatores C e P são tratados individualmente quando se buscam formas mais adequadas de produção agrícola em harmonia com o meio físico a ser explorado. Segundo STEIN et al. (1987), entretanto, quando é enfocada a perda de solos por erosão, essas variáveis estão de tal forma interrelacionadas que não se pode analisá-las individualmente. Dessa forma, os autores acima referidos trataram em conjunto os fatores C e P, elaborando uma tabela com diferentes valores de CP.

A ocupação das terras é representada por 22 categorias. Em função do porte de vegetação e do tipo de ocupação, foram reunidos em conjuntos abrangentes. Estes por sua vez foram subdivididos em razão da total ou parcial cobertura do terreno pela vegetação, resultando em 7 grupos maiores. Ou seja, são consideradas concomitantemente dois níveis de generalização, um em função do porte da cobertura e outro da porcentagem de cobertura do terreno, representados pela tabela 3 (STEIN et al., 1987).

Os dados da tabela foram atribuídos ao mapa de uso do solo do ano de 1966, obtido através dos dados fornecidos pelas cartas topográficas (figura 15). À tabela do mapa foi adicionado o *item fator-CP-66*, e a cada polígono foi atribuído o valor de CP correspondente. Os valores de CP utilizados para o uso do solo de 66 são mostrados na tabela 4.

O uso – manejo e práticas conservacionistas constituem-se nos fatores de influência antrópica que são contemplados pela EUPS e também no único fator variante utilizado para o desenvolvimento deste trabalho. Os valores de CP foram atribuídos primeiramente ao mapa de uso do solo de 1966 e, posteriormente, para os mapas de uso do solo dos anos de 1985 e 1996, como será descrito mais adiante.

Como podemos observar na figura 15, mais de 80% da área total das duas bacias eram cobertas pelo cerrado, e 12% da bacia do Rio Arica-Açu e 19% da bacia do Rio Arica-Mirim eram ocupadas por matas, sendo que estas se encontram beirando os rios principais (matas galerias), e nas áreas de terreno mais acidentado. Nessa época, poucas áreas eram ocupadas por agriculturas, sendo observado somente no extremo norte da área estudada,

na região dos planaltos, onde o solo apresenta melhores condições para o uso agrícola.

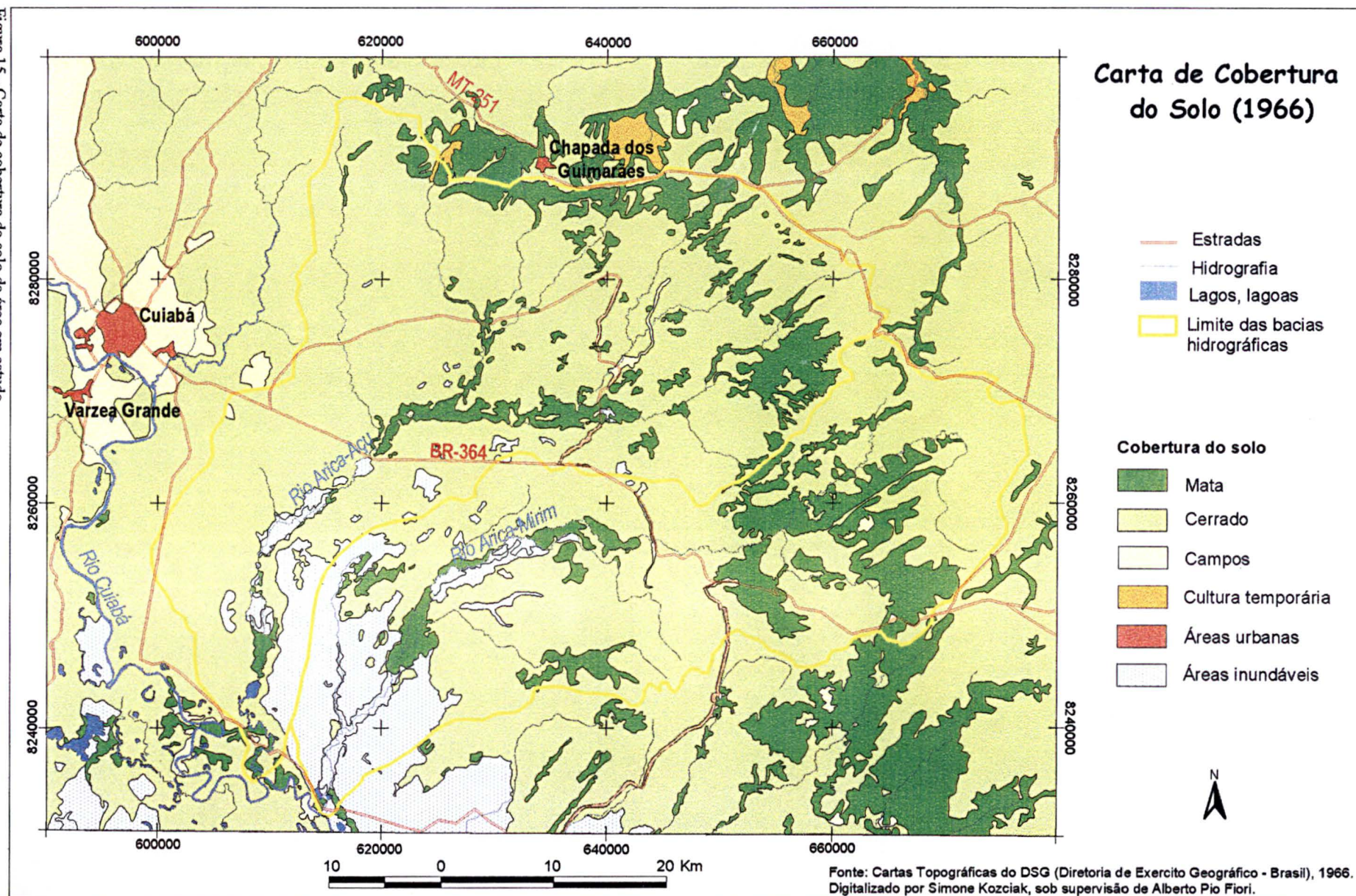
GRUPO	CATEGORIA	CP
1. Vegetação de porte alto a médio, cobertura total do terreno		0,00004
	1a. Floresta	0,00004
	1b. Vegetação secundária	0,00004
	1c. Cerrado	0,00004
	1d. Reflorestamento	0,0001
2. Vegetação de porte médio a baixo, cobertura total do terreno		0,01035
	2a. Cobertura residual	0,0007
	2b. Cerrado	0,0007
	2c. Cultura permanente	0,02
	2d. Cana-de-açúcar	0,05
3. Vegetação de porte médio a baixo, cobertura parcial do terreno		0,25
	3a. Cobertura residual	0,25
	3b. Cobertura perene	0,25
4. Vegetação de porte baixo a rasteiro, cobertura total do terreno		0,01
	4a. Cobertura residual	0,01
	4b. Pastagem	0,01
	4c. Cultura temporária	0,20
	4d. Campo cerrado	0,01
	4e. Campo natural	0,01
5. Vegetação de porte baixo a rasteiro, cobertura parcial do terreno		0,10
	5a. Cobertura residual	0,10
	5b. Pastagem	0,10
	5c. Cultura temporária	0,20
6. Ocupações naturais diversas		0,00
	6a. Várzea	0,00
	6b. Espelho d'água	0,00
7. Ocupações antrópicas diversas		0,00
	7a. Área urbanizada	0,00
	7b. Estrada	0,00

Tabela 3: Categorias de ocupação e valores correspondentes de CP atual estabelecidos por STEIN et al., 1987.

Mapa Topográfico	Categoria	CP
Floresta, mata, bosque	1a. floresta	0,00004
Cerrado, macega, agreste	2b. cerrado	0,0007
Campos	4d. campo cerrado	0,01
Culturas	4c. culturas temporárias	0,20
Áreas urbanas	7a. áreas urbanizadas	0,00
Rios, lagos e lagoas	6b. espelhos d'água	0,00

Tabela 4 – Valores de CP aplicados para cobertura do solo de 1966.

Figura 15 - Carta de cobertura do solo da área em estudo.



3. Cálculo do Valor de A

Um dos aspectos fundamentais que distingue um SIG de outros tipos de sistemas de informação são as funções que realizam análises espaciais, elaboração e modelização dos dados, partindo da informação georreferenciada armazenada no banco de dados, criando assim um novo nível de informação.

Todos os mapas temáticos, organizados como coverages poligonais foram sobrepostos com operação de análise espacial (*Intersect – overlay – poly on poly*). Foi criado então um novo nível de informação, onde cada polígono é o resultado da intersecção de todos os polígonos de input.

Um aspecto fundamental de tal operação é a possibilidade de conservar todos os atributos informativos da FAT (Feature Attribute Tables) da coverage original (mapas temáticos) na tabela da coverage resultante, onde são recalculados somente os atributos específicos de área e perímetro dos novos polígonos criados na intersecção.

Nesta nova coverage criada (**Total_A**) foi atribuído um novo *item* “*valor_A*”, onde cada polígono passou a ter o resultado da multiplicação de todos os fatores da equação. Para calcular o valor de A trabalhou-se com a tabela da coverage, utilizando a seguinte expressão:

Select all

$$\text{Calc Valor_A} = \text{Fator_R} * \text{Fator_K} * \text{Fator_LS} * \text{Fator_CP}$$

A figura 16 mostra um esquema de todo o trabalho realizado para o cálculo do valor de perdas de solo por hectare/ano.

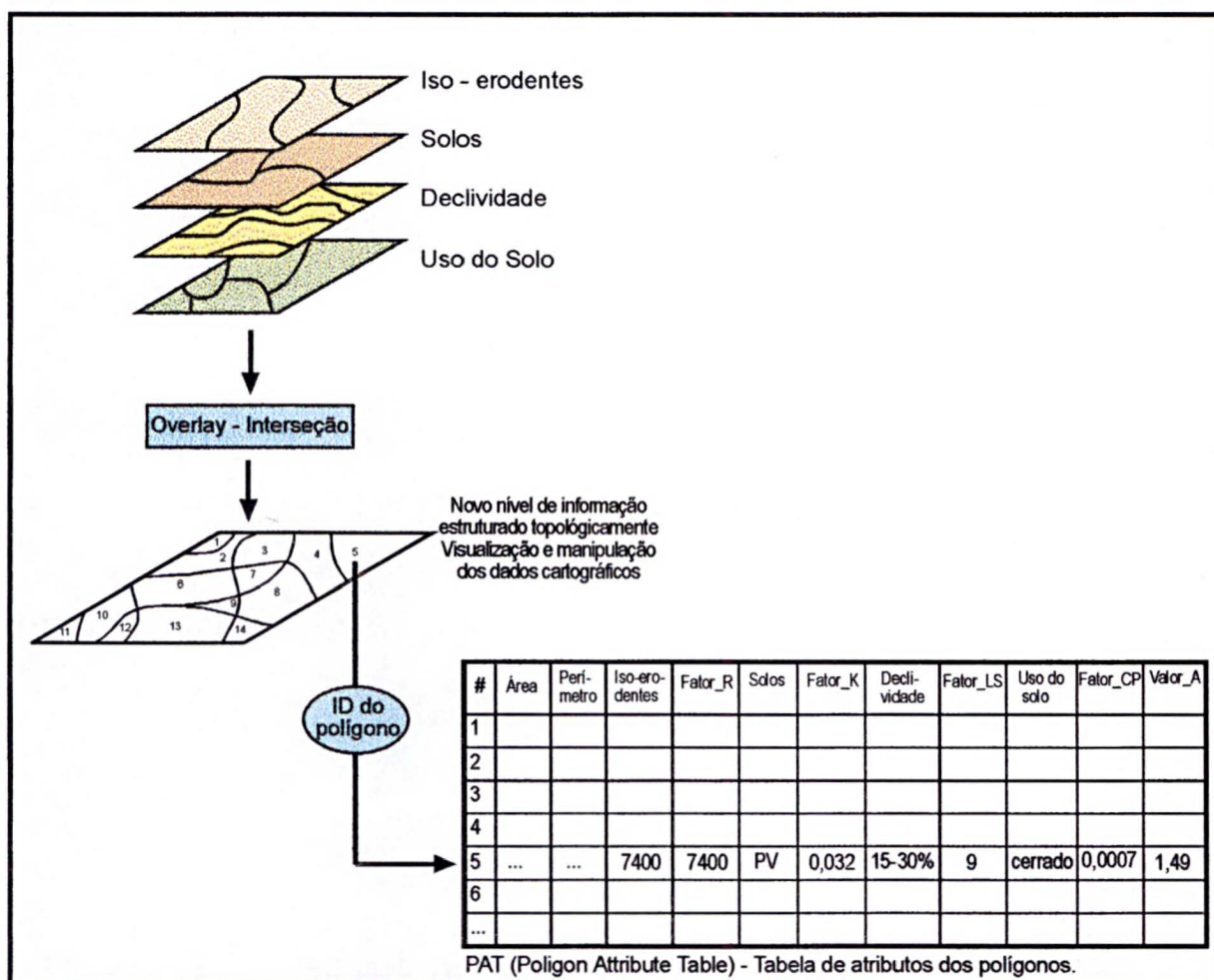


Figura 16 – Esquema das atividades realizadas para cálculo do valor de perdas de solo.

4. Resultado

Para facilitar a análise, os valores de perdas de solo foram hierarquizados em 5 classes de potencial de erosão, conforme mostrado a seguir:

- Potencial muito baixo (MB) com perdas de até 5 ton./ha.ano;
- Potencial baixo (B) com perdas entre 5 e 10 ton./ha.ano;
- Potencial médio (M) com perdas entre 10 e 20 ton./ha.ano;
- Potencial alto (A) com perdas entre 20 e 50 ton./ha.ano;
- Potencial muito alto (MA) com perdas acima de 50 ton./ha.ano;

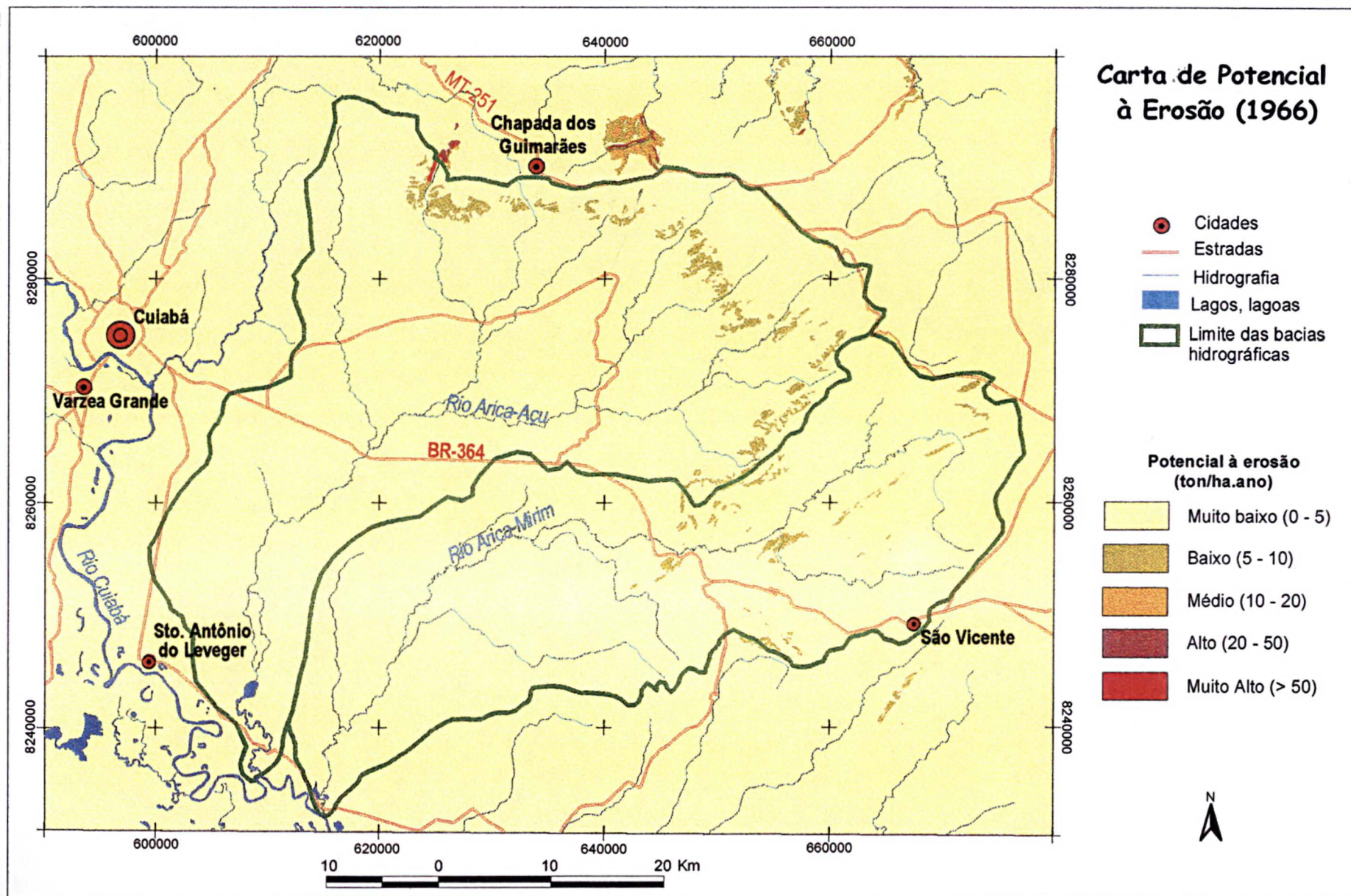
A tabela à seguir mostra a área total para cada classe de perdas de solo, também representada pela figura 17.

Classes	Área Total (Hectares)	Bacia do Rio Arica-Açu		Bacia do Rio Arica-Mirim	
		Hectares	%	Hectares	%
1(MB)	617082,49	163861,22	97,76	124996,65	98,93
2(B)	6349,87	3664,45	2,19	1356,64	1,07
3(M)	943,21	----		----	
4(A)	354,10	9,80	0,01	----	
5(MA)	95,33	64,20	0,04	----	
Total	624825	167599,67	100	126353,29	100

Tabela 5 – Total da área de cada classe de perdas de solo.

Para o ano de 1966, as bacias do Rio Arica-Açu e Arica-Mirim apresentam um potencial de perdas de solo muito baixo, com a classe 1 ocupando um total de 97,76% e 98,93% respectivamente. Na bacia do Rio Arica-Açu foi encontrada uma área de 64,20 ha com potencial de perdas de solo muito alto, a leste da cidade de Chapada dos Guimarães. Esta área foi fortemente influenciada pelos fatores K e CP, sendo que havia agriculturas sobre solos de Areias Quartzosas ou Litólicos, que são bastante susceptíveis a erosão.

Figura 17 - Carta de Potencial à Erosão da área em estudo para o ano de 1966.



Capítulo III

1. Elaboração e análise dos dados de Sensoriamento Remoto

Para este trabalho foi utilizado imagens do satélite Landsat 5 TM (Thematic Mapper), em formato digital. O sensor TM do satélite possui 7 bandas, sendo que cada banda representa uma faixa no espectro eletromagnético captada pelo satélite. Uma cena inteira do satélite representa, no solo, uma área de abrangência de 184 X 185 Km, e a resolução geométrica das imagens em todas as bandas (exceto a 6) é de 30 metros, isto é, cada pixel da imagem representa uma área no terreno de 30 X 30 metros. Para a banda 6 (banda termal), a resolução é de 120 metros.

A cena adquirida para o trabalho é referente a órbita / ponto 226-071, das datas de 03 de setembro de 1996 e 19 de julho de 1985. Para o ano de 96 foram adquiridas as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, e para o ano de 85 somente as bandas 3, 4 e 7. Para processamento das imagens foi utilizado o software ERDAS Imagine 8.3.1[®].

1.2 - Técnicas de processamento digital de imagens

Na utilização de imagens orbitais no formato digital, as técnicas de processamento digital são considerados importantes ferramentas e, quando aplicadas facilitam a identificação e a extração de informações contidas nas imagens.

As técnicas de processamento de imagens digitais podem ser classificados em técnicas de processamento (preparação das imagens), técnicas de realce e técnicas de classificação.

1.2.1 - Técnicas de processamento

Referem-se ao conjunto de programas que permitem a transformação de dados digitais brutos em dados corrigidos radiometricamente (minimizar as diferenças entre os níveis de cinza de uma imagem) e geometricamente (reorganizar os pixels de uma imagem em

relação a uma determinada sistema de projeção cartográfica), assim como a correção de efeitos atmosféricos (reduzir os efeitos da interferência atmosférica sobre os valores de cinza).

Esta etapa é importante, porque nos sistemas de imageamento orbital, são comuns os dados originais das imagens mostrarem algumas formas de degradação devido a desajustes de calibração dos detetores, mal funcionamento do sensor, problemas de transmissão, recepção e registro, interferências na radiância por efeitos atmosféricos e distorções nas formas dos pixels, causados por variação de atitudes do satélite ou pela própria configuração da geometria de imageamento, que nem sempre são visualmente percebidos quando a imagem é exposta no monitor de vídeo (MENESES et al., 1991).

Os pré processamentos a serem utilizados estão relacionados aos objetivos do trabalho, bem como à qualidade da imagem, que depende, além das condições de aquisição da mesma, dos pré processamentos já realizados previamente à sua comercialização. Portanto será descrito aqui somente a técnica utilizada, de correção geométrica.

1.2.1.1 - Correção geométrica

A função dos programas de correção geométrica é reorganizar os pixels na imagem em relação a determinado sistema de projeção cartográfica. Pode ser obtida através de técnicas de reamostragem dos pixels de uma dada cena. A reamostragem implica na reformatação da cena em uma dada base cartográfica. Para esta reformatação, são necessários pontos de controle no terreno, facilmente identificáveis na base cartográfica e na cena a ser corrigida geometricamente. Os pontos de controle são localizados, nas imagens, por suas coordenadas x e y (linhas e colunas), e na carta base, por suas coordenadas geográficas (latitude, longitude).

As duas cenas adquiridas, descritas anteriormente, foram georreferenciadas na projeção UTM, esferoide South America 1969, com dados de bases cartográficas na escala 1:100.000, e eventualmente, com alguns dados em escala 1:250.000. Foram identificados mais de 150 pontos de controle para cada imagem, distribuídos em toda a imagem com um erro total (*root mean squared error* – RMS) de cerca de 150 metros, considerado aceitável para a escala de trabalho. Os pontos de controle identificados foram cruzamentos de estradas, confluência de rios, cidades, campos de pouso, etc.

1.2.2 – Técnicas de realce de imagens

Estas técnicas tem como objetivo melhorar a visualização da cena e, dentre as técnicas de realce mais utilizadas, podemos destacar: a) manipulação de contraste; b) filtragem espacial e; c) rotação de imagens.

Algumas técnicas de realce são utilizadas como processamentos anteriores ao processo de classificação digital. Em algumas circunstâncias, como mostra a literatura, a utilização de tais técnicas aumenta a precisão de classificação em relação aos canais originais da cena, mas em outra vezes, não chegam a melhorar o desempenho dos dados (NOVO, 1992).

Baseado nisso, a única técnica aplicada na cena estudada foi a manipulação de contraste, que visa facilitar a discriminação visual de características da cena de baixo contraste. Consiste em procedimentos que, através da modificação da forma do histograma da imagem, ampliam o contraste da mesma. O nível de cinza da imagem original é transformado em um outro valor de nível de cinza, de tal modo que o contraste seja aumentado. Através do comando '*Standard deviation stretching*' no ERDAS Imagine®, aplicou-se essa técnica e obteve-se um melhoramento na discriminação visual da cena.

1.2.3 - Técnicas de classificação digital

Implicam na implementação de um processo de decisão para que o computador possa atribuir certo conjunto de pontos da imagem (pixel) a uma determinada classe. Tem o objetivo de tornar o processo de mapeamento ou reconhecimento de característica da superfície terrestre menos subjetivo e com maior potencial de repetição em situações subsequentes (NOVO, 1992).

As técnicas de classificação que podem ser aplicadas apenas a um canal espectral são conhecidas como classificação unidimensional. Quando o critério de decisão depende da distribuição de níveis de cinza em vários canais espectrais, são chamados de técnicas de classificação multiespectral.

As técnicas de classificação multiespectral podem ser divididas em três conjuntos: técnicas de classificação supervisionada, não supervisionada e, de classificação híbrida. No presente trabalho foi utilizada a técnica multiespectral, utilizando classificação supervisionada.

Neste tipo de classificação, o analista está em constante interação com o sistema de análise. Além disso, ele dispõe de informações sobre a cena, que servem de ‘treinamento’ para os sistemas. Estas informações são conhecidas pelo nome de ‘amostras de treinamento’ (*training sets*) e representam o comportamento médio das classes que deverão ser mapeadas automaticamente.

É importante, portanto, que a amostra de treinamento seja bastante homogênea e representativa da classe de interesse, mas algumas classes de treinamento não tem, naturalmente, um comportamento espectral homogêneo em toda sua extensão espectral, e isso é um problema.

Uma forma de avaliar a homogeneidade das amostras de treinamento é examinar seu histograma. Uma amostra homogênea terá um histograma geralmente unimodal. Se a amostra inclui componentes de mais de uma classe, seu histograma será multimodal. Nesse caso, uma forma de melhorar o desempenho da classificação é transformar o histograma em unimodal, cortando os pixels que não pertencem à classe de interesse.

2. Produção das cartas de cobertura do solo

Um dos tematismos que melhor é elaborado através da análise de imagens de satélite é a cobertura do solo (land cover). Este tema, para o presente trabalho, foi obtido mediante técnicas de classificação automática, utilizando classificação supervisionada.

Da elaboração da análise das imagens foi obtido um carta de cobertura do solo multitemporal (uma para cada data – 1985 e 1996), de fundamental importância para o estudo da evolução do território e da situação ambiental atual da área de estudo.

Para obtenção das cartas de cobertura do solo seguiu-se 4 passos fundamentais:

- Realização de mapas preliminares fotointerpretados;
- Controle de campo, com o objetivo de definir as chaves de interpretação para corrigir e melhorar estes mapas;
- Classificação supervisionada, levando em conta estas chaves de interpretação;
- Elaboração final, através de fotointerpretação, dos bancos de dados produzidos através de classificação com o objetivo de interpretar corretamente áreas caracterizadas por padrões particulares, texturas e outras feições dificilmente detectáveis pela classificação.

2.1 – Legenda utilizada para a carta de cobertura do solo

De acordo com NOVO (1978), mais importante do que adotar um sistema rígido de classificação, é definir com precisão as classes em um determinado mapeamento. Ou seja, é de fundamental importância definir as classes de cobertura do solo que serão utilizadas antes de iniciar a classificação.

Para o presente estudo foi utilizada a legenda do projeto ‘CORINE (*Coordination of the Information on the Environment*) Land Cover’, que faz parte do programa desenvolvido pela Comunidade Européia (HAYMANN et al., 1994).

Este projeto nasceu da necessidade de se ter uma base de informações da cobertura do solo de todo o território europeu e áreas limítrofes, de forma homogênea, e suscetível a atualizações periódicas.

Os três níveis fundamentais no qual é organizada a legenda são:

- O primeiro, com 5 classes, indica a maior subdivisão do território no planeta;
- O segundo, com 15 classes, representa o uso do solo em escala menor (1:500.000);
- O terceiro, com 44 classes, e usada para detalhe à escala 1:100.000.

Todas as classes estão representadas na tabela 6. As classes identificadas para este estudo e o significado de cada uma, estão representados na tabela 7.

Algumas classes da legenda foram modificadas com o propósito de representar as peculiaridades da área estudada, pois devido à altitude, feições climáticas e fisiográficas típicas da região de estudo, possuem características diferentes. O significado das classes 1.1.1, 2.1.1, 2.3.1, 2.4.3, 3.3.2, 3.3.3, 3.3.4, 4.1.1 e 5.1.1 são iguais às definidas pelo projeto CORINE. As áreas naturais específicas da zona de estudo estão representadas pela classe 3.1.1, 3.2.1 e 3.2.2 da legenda, considerando a associação vegetal típica da Região Centro Oeste do Brasil, caracterizado pelas condições climáticas e geográficas da região.

2.2 – Controle de campo e chaves interpretativas

O trabalho de campo foi realizado com o propósito de se definir as chaves interpretativas da imagem de satélite preliminarmente elaboradas. Isto implicou num elaborado estudo preliminar da imagem, para a individualização das coberturas do solo mais representativas.

Level 1	Level 2	Level 3
1. Artificial	1.1. Urban fabric	1.1.1. Continuous urban fabric surfaces
		1.1.2. Discontinuous urban fabric
	1.2. Industrial, commercial	1.2.1. Industrial or commercial units and transport units
		1.2.2. Road and rail networks and associated land
		1.2.3. Port areas
		1.2.4. Airports
	1.3. Mine, dump	1.3.1. Mineral extraction sites and construction sites
		1.3.2. Dump sites
		1.3.3. Construction sites
	1.4. Artificial non-agricultural	1.4.1. Green urban areas vegetated areas
		1.4.2. Sport and leisure facilities
2. Agricultural	2.1. Arable land	2.1.1. Non-irrigated arable land areas
		2.1.2. Permanently irrigated land
		2.1.3. Rice fields
	2.2. Permanent crops	2.2.1. Vineyards
		2.2.2. Fruit trees and berry plantations
	2.3. Pastures	2.2.3. Olive groves
		2.3.1. Pastures
	2.4. Heterogeneous agricultural areas	2.4.1. Annual crops associated with permanent crops
		2.4.2. Complex cultivation
		2.4.3. Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation
		2.4.4. Agro-forestry areas
3. Forests and forest semi-natural	3.1. Forests	3.1.1. Broad-leaved
		3.1.2. Coniferous forest areas
		3.1.3. Mixed forest
	3.2. Shrub and/or herbaceous	3.2.1. Natural grassland vegetation association
		3.2.2. Moors and heathland
		3.2.3. Sclerophyllous vegetation
		3.2.4. Transitional woodland shrub
	3.3. Open spaces with little or no vegetation	3.3.1. Beaches, dunes, and sand plains
		3.3.2. Bare rock
		3.3.3. Sparsely vegetated areas
		3.3.4. Burnt areas
		3.3.5. Glaciers and perpetual snow
4. Wetlands	4.1. Inland wetlands	4.1.1. Inland marshes
		4.1.2. Peatbogs
	4.2. Coastal wetlands	4.2.1. Salt marshes
		4.2.2. Salines
		4.2.3. Intertidal flats
5. Bodies Water	5.1. Continental Water	5.1.1. Water courses
		5.1.2. Water bodies
	5.2. Ocean Water	5.2.1. Coastal, lagoons
		5.2.2. Estuaries
		5.2.3. Sea and oceans

Tabela 6 – Classes da legenda do programa CORINE Land Cover (Fonte: HAYMANN et al., 1994)

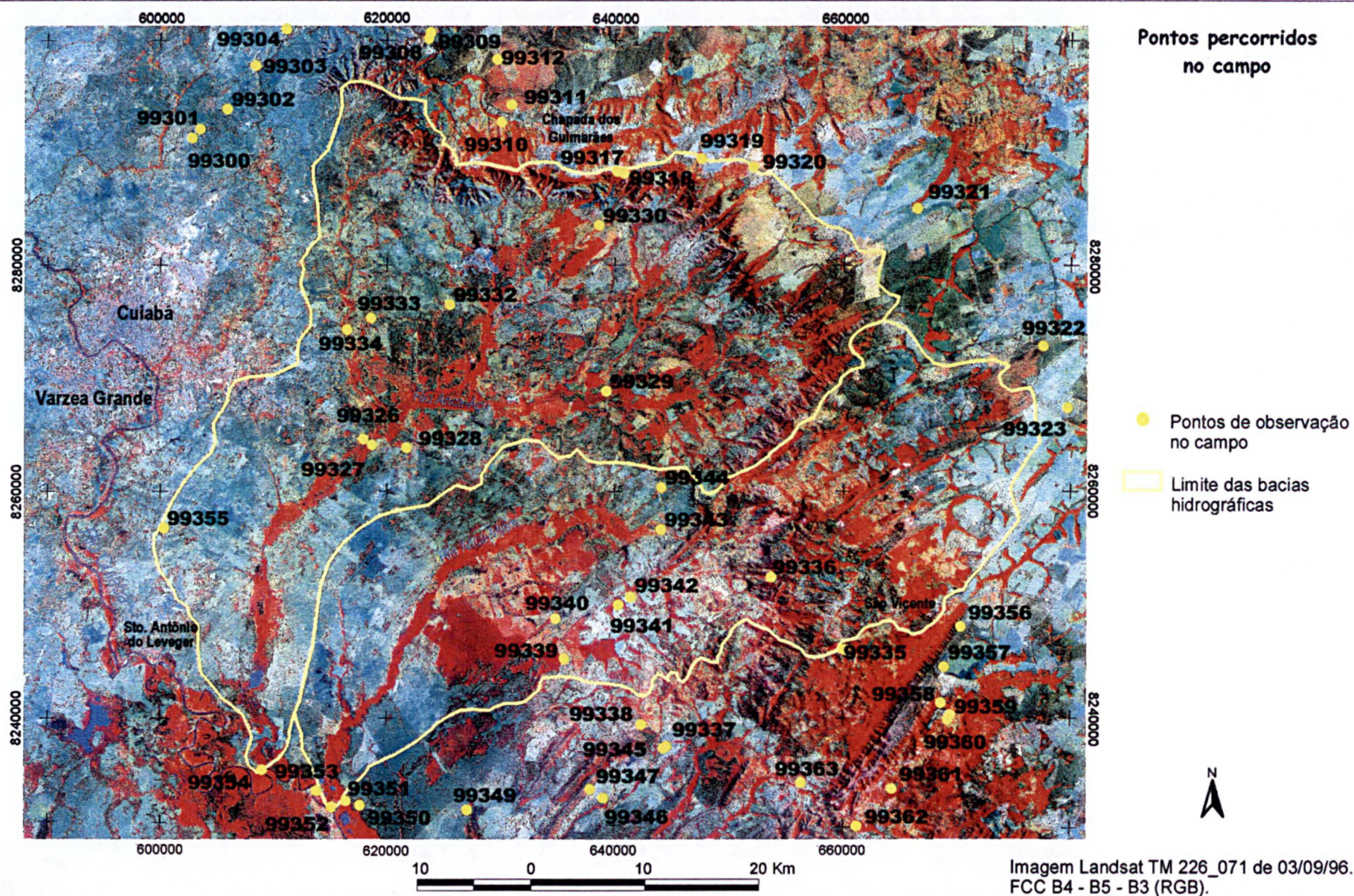
1º	2º	3º	Significado adotado para a área de estudo
1 - Área modelada artificialmente	1.1 Zona urbanizada	1.1.1	Espaço estruturado por edifícios e arruamento onde estes e a superfície recoberta artificialmente ocupam mais de 80% da superfície total. A vegetação e o solo descoberto representam as exceções. São incluídas aqui as áreas de aeroporto e construções descontínuas, junto a aglomerados urbanos.
2 - Área agrícola	2.1 Áreas de cultivo	2.1.1	Superfícies cultivadas regularmente de maneira extensiva e mecanizada, geralmente com soja (sorgo) ou café. Na estação seca apresentam-se como áreas aradas, com exposição de solo laterítico.
	2.3 Pastagem permanente	2.3.1	Superfícies com coberturas herbáceas densa representada principalmente por gramíneas não sujeitas a rotação, do tipo pastagem permanente
3 - Área natural	3.1 Zona florestada	3.1.1	Áreas naturalmente vegetadas, constituídas do biotipo Floresta (mata galeria), constituída por árvores de até 30 metro de altura, sempre verdes ou com folhas caducas com menos de 30 % do total. É incluído nesta classe o biotipo Cerradão, correspondente a savana densa, com árvores sempre verdes com alturas não superiores a 10 metros e escassa cobertura herbácea.
	3.2 Zona com vegetação arbustiva ou herbácea	3.2.1	Áreas de pastagem natural de baixa produtividade; podem estar situadas em zonas acidentadas.
		3.2.2	Áreas com formações vegetais naturais baixas e fechadas, compostas principalmente de arbustos e plantas herbáceas; está incluído o biotipo Cerrado, savana aberta, semelhante ao Cerradão, como tipo vegetal, mas com textura mais rala e arbustiva. Está também presente a categoria savana parque, com cobertura herbácea densa e arbustos esparsos.
		3.2.4	Área de vegetação de bosque e arbustiva em evolução, com distribuição esparsa, comumente associadas à zonas acidentadas; podem derivar da degradação da floresta ou da sua regeneração.
	3.3 Zona com vegetação rala ou ausente	3.3.2	Áreas totalmente privadas de vegetação, com solo descoberto ou afloramento de rochas; podem ser naturais ou derivadas de atividades antrópicas (escavações, pedreiras a céu aberto ou desmatamentos)
		3.3.3	Áreas naturais com vegetação muito rala ou ausente, mas sem sinais evidentes de solo descoberto.
		3.3.4	Áreas afetadas por incêndios recentes, com restos de material carbonizado.
4 - Área úmida	4.1 Zona úmida interna	4.1.1	Zonas úmidas internas (não) florestadas, parcialmente ou permanentemente saturadas de água.
5 - Cursos d'água	5.1 Águas continentais	5.1.1	Cursos de água continentais; cursos de água artificiais ou naturais. Fazem parte desta classe rios com largura mínima de 100 metros.

Tabela 7 – Classes da legenda CORINE utilizadas na área em estudo.

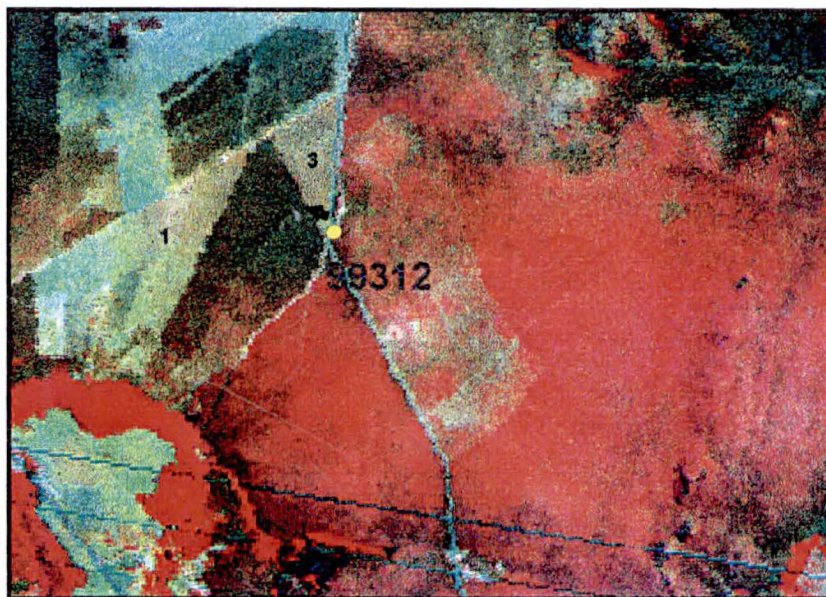
Vários sub-sets da cenas 226-071 foram plotadas na escala 1:100.00, para facilitar a visualização das características de cobertura do solo na imagem e no terreno. Foi utilizado também as correspondentes cartas topográficas, na escala 1:100.000 e 1:250.000 e um GPS (Global Positioning System), configurado na projeção UTM, utilizado para o controle da georreferenciação da imagem, para a orientação sobre o terreno e localização mais precisa dos pontos.

A atividade de campo foi realizada no período de 04 a 20 de agosto de 1999. Partindo da cidade de Cuiabá, seguiu-se pela MT - 251 até a cidade de Chapada dos Guimarães, depois para a São Vicente pela BR - 364 e Santo Antônio de Leverger, sendo estas as principais cidades localizadas na região. Das rodovias principais, saía-se sempre para as secundárias, afim de tirar dúvidas observadas nas imagens. Foram feitos vários pontos de observação, onde anotou-se a localização, o relevo, o tipo de cobertura do solo e qual a resposta espectral que se tinha de tal cobertura na imagem. De cada ponto de observação foram obtidas uma ou mais fotografias. A figura 18 mostra o caminho percorrido durante o trabalho de campo e os pontos de observação. E as figuras 19, 20, 21, 22, 23, 24 e 25 mostram exemplos das observações feitas em campo.

Figura 18 - Imagem Landsat TM, com pontos de observação em campo.



Ponto 99312 - X= 629710 Y=8298280



FCC - B4 - B5 - B3 (RGB)

Limite de pasto sujo com cerrado. Pasto em transição para o cerrado (1 e 3). Quando o pasto é abandonado cresce novamente o cerrado (2). A fotografia feita no local, mostra os diferentes usos do solo, representados na imagem de satélite.
Código CORINE - 3.3.2 e 2.3.1.



Foto - AP1-20

Figura 19 - Observações do trabalho de campo - Ponto 99312

Ponto 99317 - X= 640210 Y=8288260



FCC - B4 - B5 - B3 (RGB)

Vista panorâmica da Chapada dos Guimarães (mirante), das cabeceiras do Rio Arica-Mirim. Observa-se em primeiro plano, mata galeria (1). No morro, no centro da foto, áreas naturais com vegetação muito rala (gramínias). Em terceiro plano, cerrado remanescente (3), e ao fundo, pastagem (4), com mata galeria acompanhando as drenagens (5).

Código CORINE 1- 3.1.1

2- 3.3.3

3- 3.2.2

4- 2.3.1

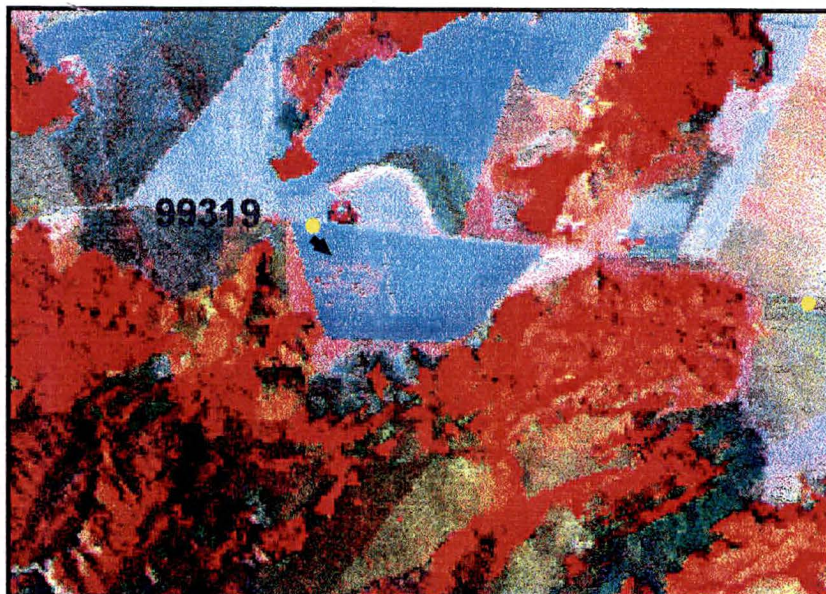
5- 3.1.1



Foto - AP1-10

Figura 20 - Observações do trabalho de campo - Ponto 99317

Ponto 99319 - X= 647530 Y=8289440



FCC - B4 - B5 - B3 (RGB)

Solo arado, preparado para agricultura. Na imagem, na composição 4, 5 e 3 a coloração é azul intenso.

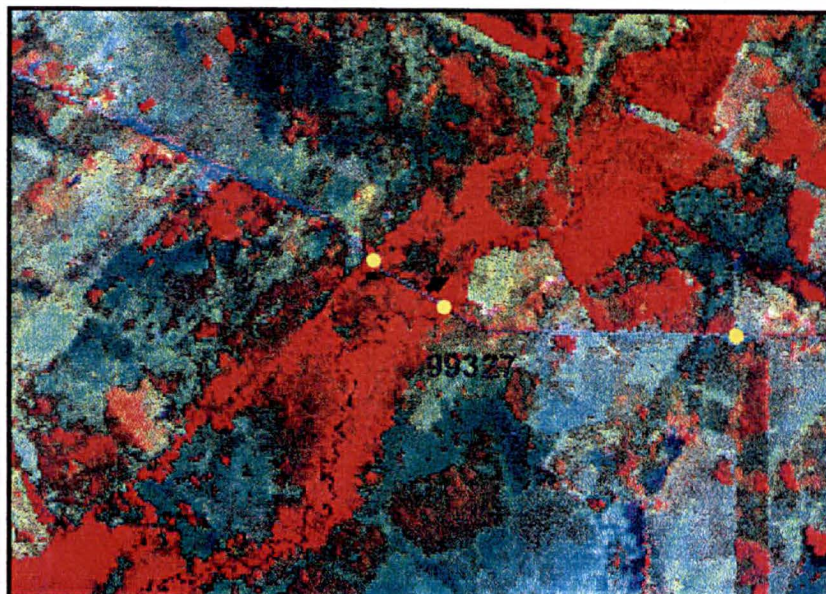
Código CORINE - 2.1.1.



Foto - AP1-4

Figura 21 - Observações do trabalho de campo - Ponto 99319.

Ponto 99327 - X= 618680 Y=8246100



FCC - B4 - B5 - B3 (RGB)

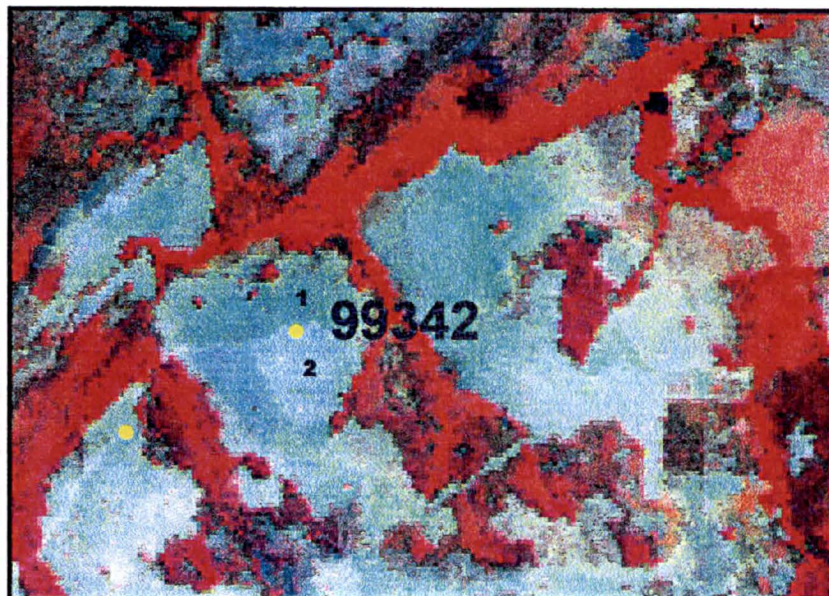
Mata galeria ao longo do Rio Arica-Açu, sob ponte na BR - 364.

Código CORINE - 3.1.1



Foto - SK1-35

Ponto 99342 - X= 641440 Y=8250580



FCC - B4 - B5 - B3 (RGB)

Área de pastagem. Quando o pasto está intenso, na imagem a cor é verde intenso (1). Quando o pasto apresenta falhas, com solo exposto, na imagem a cor é azul claro, esbranquiçado (2).

Código CORINE - 2.3.1



Foto - AP2-14

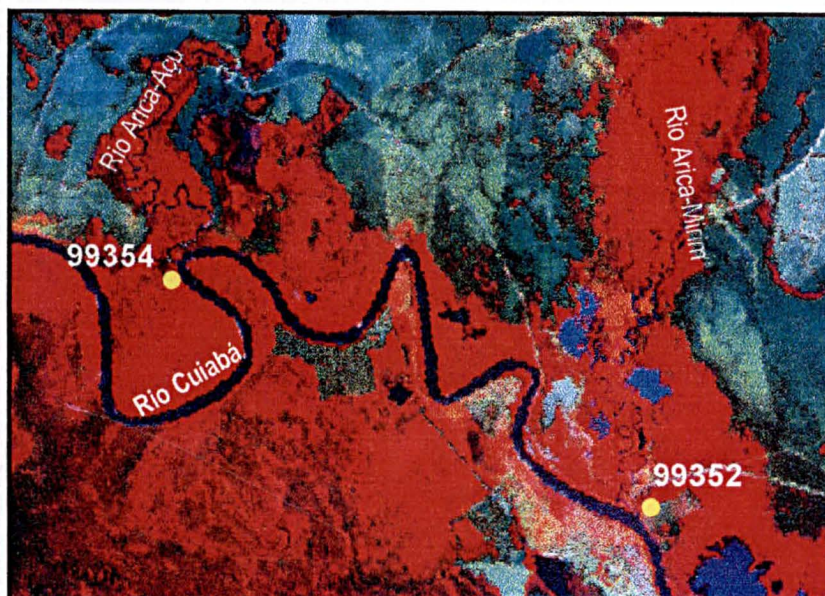


Foto - AP2-15

Figura 23 - Observações do trabalho de campo - Ponto 99342.

Ponto 99352 - X= 615147 Y=8232107

Ponto 99354 - X= 609116 Y=8235391



FCC - B4 - B5 - B3 (RGB)

Foz dos Rios Arica-Açu e Arica-Mirim no Rio Cuiabá.

Código CORINE - 5.1.1

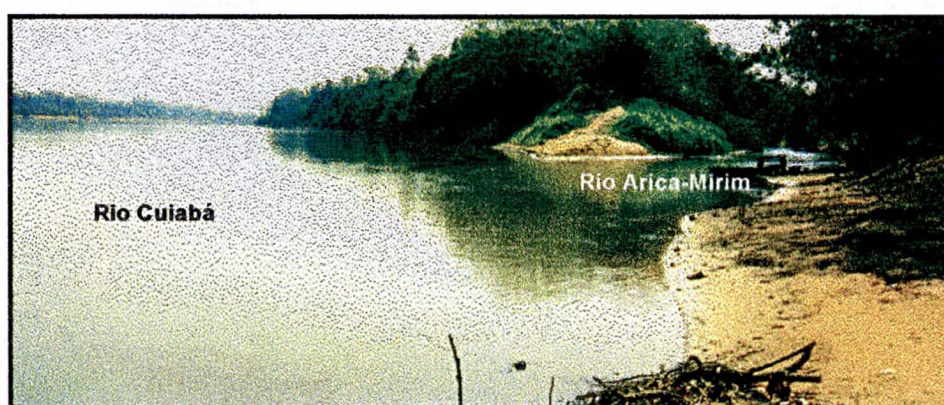


Foto - SK2-23, Ponto - 99352

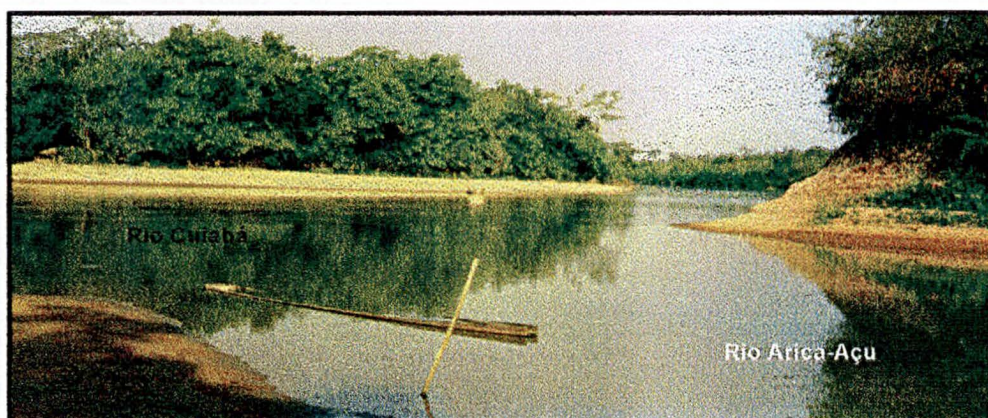
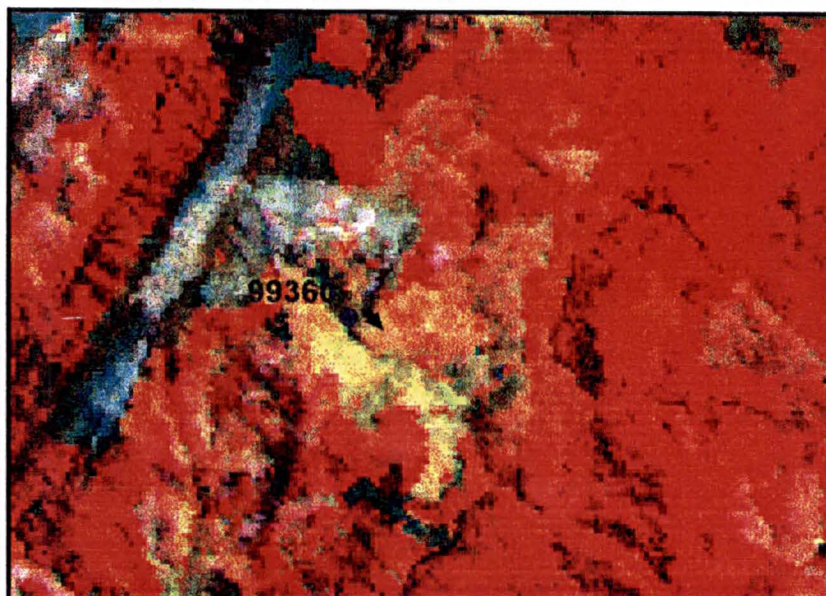


Foto - SK2-29, Ponto - 99354

Figura 24 - Observações do trabalho de campo - Pontos 99352 e 99354.

Ponto 99360 - X= 669200 Y=8239850



FCC - B4 - B5 - B3 (RGB)

Área com exposição de matações, solos litólicos. Na imagem, com a composição 4, 5 e 3, a resposta espectral é de uma coloração amarela, com pontos avermelhados. Representa área de vegetação degradada ou em regeneração.

Código CORINE - 3.3.2



Foto - AP3-26

Figura 25 - Observações do trabalho de campo - Ponto 99360.

A escolha da composição colorida da imagem foi por critério visual. Foi utilizada a composição 4,5,7 em RGB respectivamente, que é bastante significativa para a interpretação dos aspectos geomorfológicos, a cobertura vegetal e umidade dos solos. Em alguns casos também foram utilizadas as bandas do visível 3, 2 e 1, que se mostraram bastante úteis para a definição de áreas naturais sem vegetação. Também foi muito utilizada a composição 4,5,3.

As chaves interpretativas da legenda sobre as imagens foram definidas com base no critério de refletância espectral, no estudo da bibliografia e no controle de campo.

A classe 2.1.1, área recentemente arada, aparece freqüentemente com a cor azul intenso, na composição 4,5,7, pelo refletividade na banda 7, característica de solo laterítico (Latossolo Vermelho Amarelo), trabalhado de maneira extensiva com maquinários, tanto que é possível distinguir os as curvas de nível, ou outras marcas deixadas pelas máquinas.. A classe 2.3.1 (pastagem), é caracterizada por uma homogeneidade textural, com evidente parcialização em grande escala, com tonalidade verde azulado muito claro (FCC 4,5,7), pela presença de erva seca e rala (fig. 26). Em alguns casos, quando a pastagem está muito verde no terreno, na imagem a representação pela banda 4,5,3 é em tons laranjados ou rosa claro.

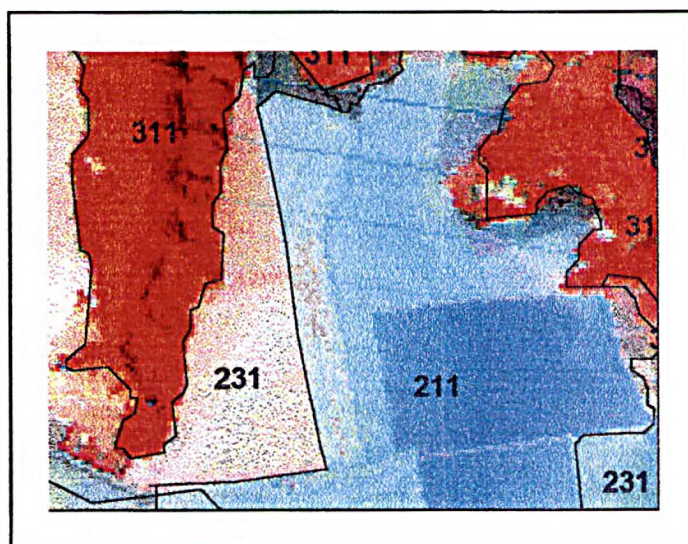


Figura 26 – Exemplo das classes 2.1.1 e 2.3.1.

A classe 3.1.1 e 3.2.2 representam uma alta refletancia na banda 4, mas com uma intensidade e um aspecto diferente, que permite uma distinção entre eles (fig. 27). Na classe 3.2.1 e 3.2.4, tanto a cor como o aspecto são similares, mas se diferenciam pela presença de vegetação esparsa mais abandonada na 2ª classe. As cores características são o

verde escuro ou azul escuro, onde é evidente na textura uma morfologia acidentada, com a possibilidade de haver áreas descobertas de vegetação (fig. 28).

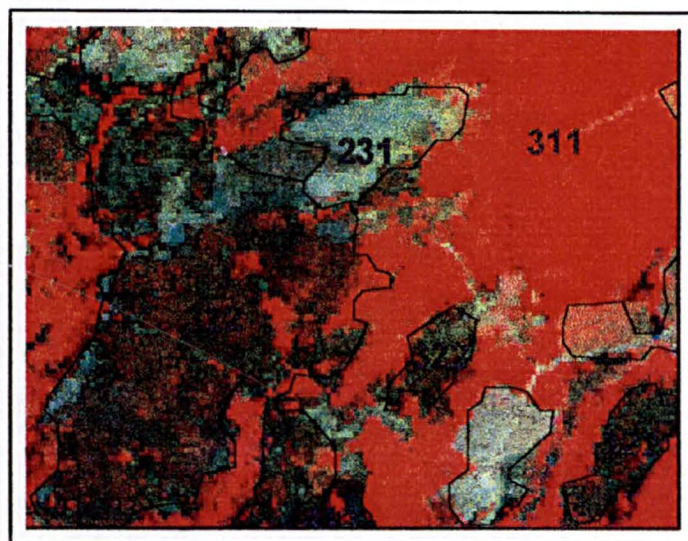


Figura 27 – Exemplo das classes 3.1.1 e 3.2.2.

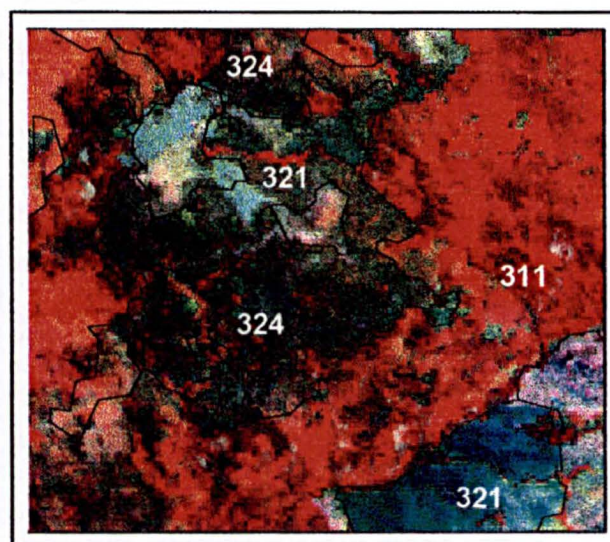


Figura 28 - Exemplo das classes 2.3.1 e 3.2.4.

A classe 3.3.2 representa área sem vegetação, com solo nu, ou provavelmente afloramento rochoso, onde a refletância é alta em todas as bandas, e aparece sempre com a coloração branca. Assim como a classe 3.3.3, corresponde a uma área quase totalmente sem vegetação arbustiva e bastante refletente, sendo que esta encontra-se nas áreas de escarpas, com morros cobertos por gramíneas, sem indícios de vegetação arbustiva. (fig. 29 e 30 respectivamente). Estas duas classes representam áreas muito frágeis e sujeitas à erosão.

A classe 3.3.4 apresenta notável analogia com as duas precedentes, mas sem a característica de uma refletância decisa na banda 7. Apresenta-se com tonalidade azul escuro intenso na composição 4,5,7, e uma tonalidade verde intenso na composição 4,5,3 e com uma

textura não homogênea e falhada nas bordas (Fig. 31).

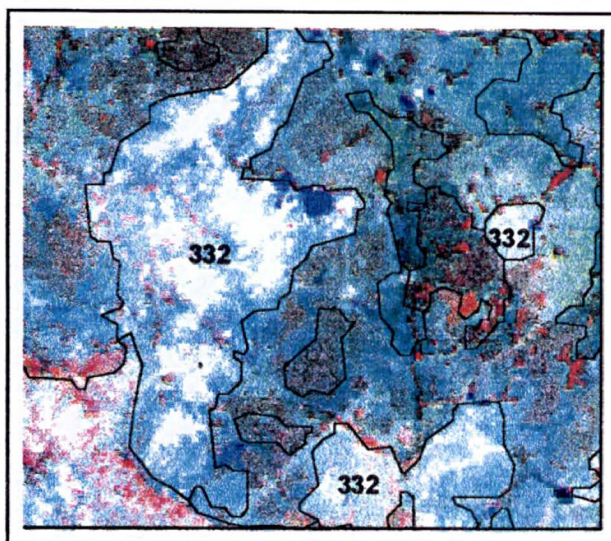


Figura 29 – Exemplo da classe 3.3.2.

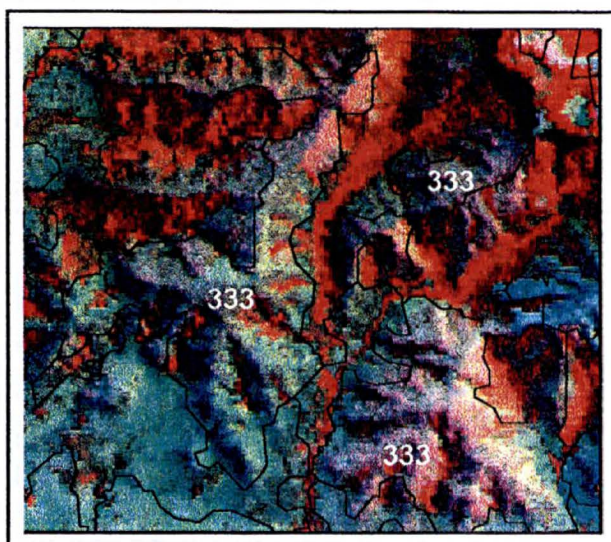


Figura 30 – Exemplo da classe 3.3.3.

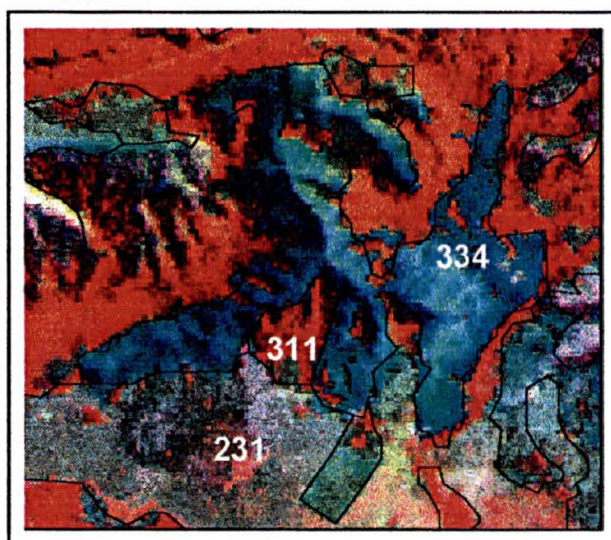


Figura 31 – Exemplo da classe 3.3.4.

2.3 – Utilização das técnicas de classificação digital

Para a produção das cartas de cobertura do solo para os anos de 1985 e 1996 foi utilizado classificação digital supervisionada. Uma das passagens mais delicadas deste tipo de classificação é a definição das classes espectrais e da área de amostragem que ela representa.

A área de amostragem referente as classes são definidas sobre a imagem através da função “*region growing properties*”, do software Erdas Imagine®, que permite definir automaticamente o pixel de maior semelhança espectral em um polígono definido segundo parâmetros específicos de input. Depois da definição de todas as classes, é produzida uma classificação automaticamente em toda a área, aplicando o algoritmo de máxima verossimilhança (*maximum likelihood*), proposto pelo programa utilizado.

A imagem classificada obtida é avaliada através do confronto de 150 pontos amostrais, distribuídas de maneira casual sobre toda a cena. O resultado obtido precisa ter percentual de acurácia acima de 70%, calculado através de uma matriz de correlação, para que uma classificação seja considerada correta. Várias classificações foram feitas para as duas datas, para se chegar a um valor aceitável, e a acurácia para 1985 foi de 78,9%, e para 1996 foi de 79,5%.

Em seguida foi aplicado um filtro médio 7X7, eliminando a excessiva segmentação da imagem em relação à escala de trabalho. O resultado obtido foi transformado em polígonos vetoriais, para se poder trabalhar com o arquivo no Arc/Info®, e cruzar com os outros mapas. Foram eliminados os polígonos com áreas menores que 25 hectares, de acordo com a metodologia de CORINE, e relativo a escala 1:100.000.

Para suavizar o aspecto de “escadinha”, originado pelo arquivo raster, foi aplicado o comando *generalize*, com *weed tolerance* de 31 metros. E novamente foram eliminados os polígonos com áreas inferiores a 25 hectares.

Após esse processo, o arquivo poligonal foi sobreposto à imagem para uma rápida revisão e algumas correções como, atribuição de classes não classificadas, identificação e introdução de áreas urbanas.

À tabela do arquivo poligonal foi acrescentado o *item Corine*, que identifica a cobertura do solo de cada polígono. A carta de cobertura do solo para os anos de 1985 e 1996 podem ser observadas nas figuras 32 e 33.

Figura 32 - Carta de Cobertura do Solo do ano de 1985.

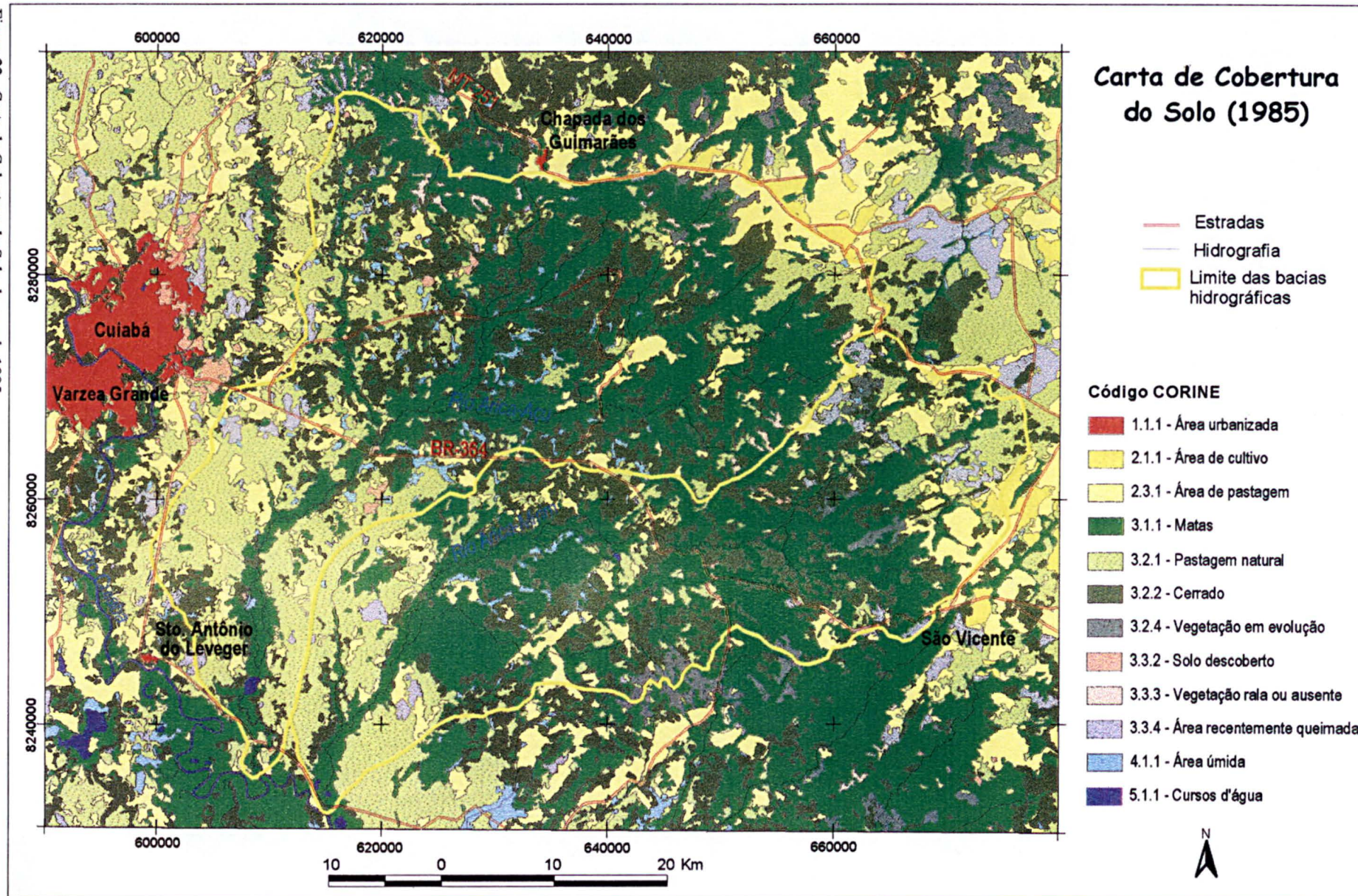
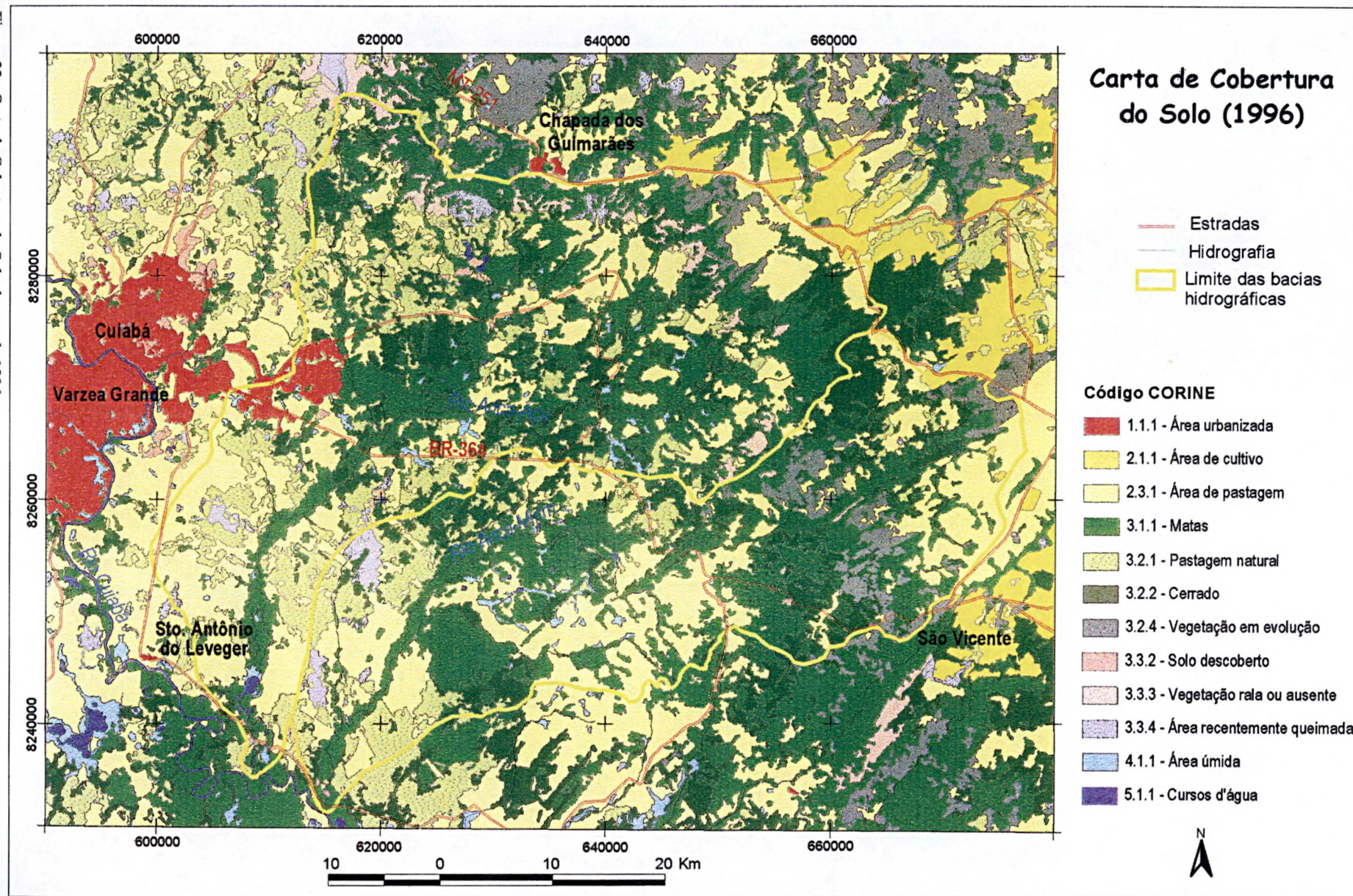


Figura 33 - Carta de Cobertura do Solo do ano de 1996.



Capítulo IV

1- Análise multitemporal da mudança ocorrida na cobertura do solo

Utilizando operação espacial de análise, típica de SIG, é possível quantificar e analisar a mudança de cobertura do solo ocorrida na área em estudo nos últimos trinta anos, e sua consequência no ambiente.

Uma mudança significativa da cobertura do solo pode ser observada na área em estudo. Como mostra a Figura 34, houve um aumento muito grande das áreas de superfície agrária, incluindo áreas de pastagem, do ano de 1966 para 1996. E consequentemente, uma diminuição das áreas com vegetação natural - matas e cerrado – (Figura 35).

Estes dados foram quantificados através da sobreposição vetorial. O banco de dados e cobertura do solo proveniente das imagens LANDSAT de 1985 e 1996 (Figuras 32 e 33), foram confrontados entre si e com os dados de cobertura do solo adquirida, em formato digital vetorial, à partir da carta topográfica de 1966 (Figura 15).

Tais mapas temáticos, organizados como coverage poligonal em um banco de dados, foram sobrepostos com operação de análise espacial, que prevê a criação de um novo nível de informação, uma nova coverage poligonal, onde cada polígono é o resultado da interseção dos polígonos das coverages de input.

Foi utilizado a opção union da operação de sobreposição, que permite conservar toda a área da coverage de entrada, independentemente da sua forma. Um aspecto fundamental de tal operação é a possibilidade de conservar todos os atributos informativos contidos na FAT (Feature Attributes Tables) da coverage de entrada. Na tabela da coverage resultante, são recalculados os atributos específicos de área e perímetro do novo polígono, criado na intersecção.

Para avaliação estatística e visual da mudança ocorrida no uso do solo, foram efetuadas diversas operações sucessivas. Cada atributo da classe de cobertura do solo dos polígonos do banco de dados de 1985 e 1996, representados pelo código CORINE, foram reagrupados para um nível mais geral. A Tabela 8 mostra como ficou tal reagrupamento, com a nova sigla e o seu significado.

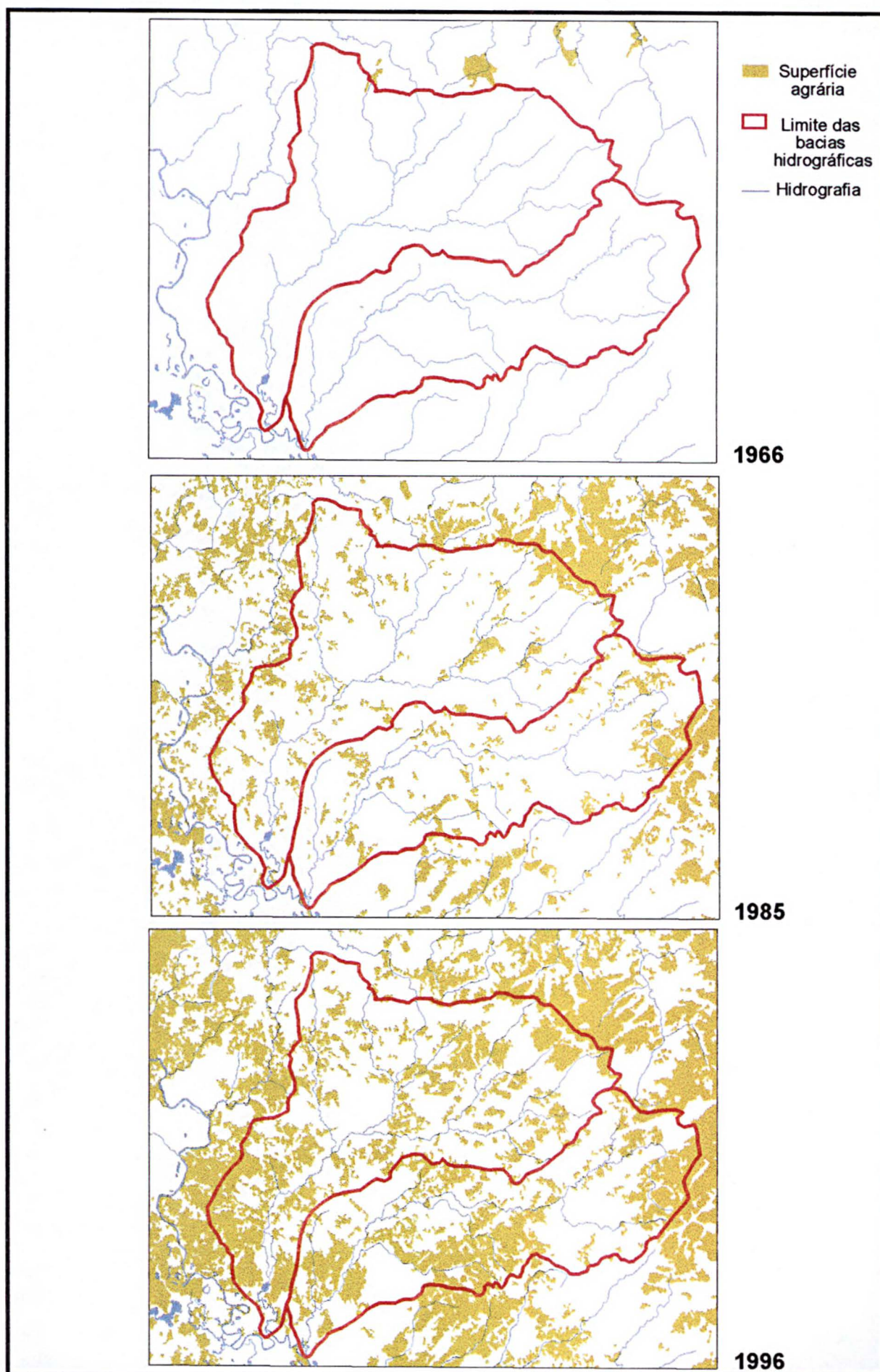


Figura 34 - Áreas de superfície agrária para cada ano em estudo.

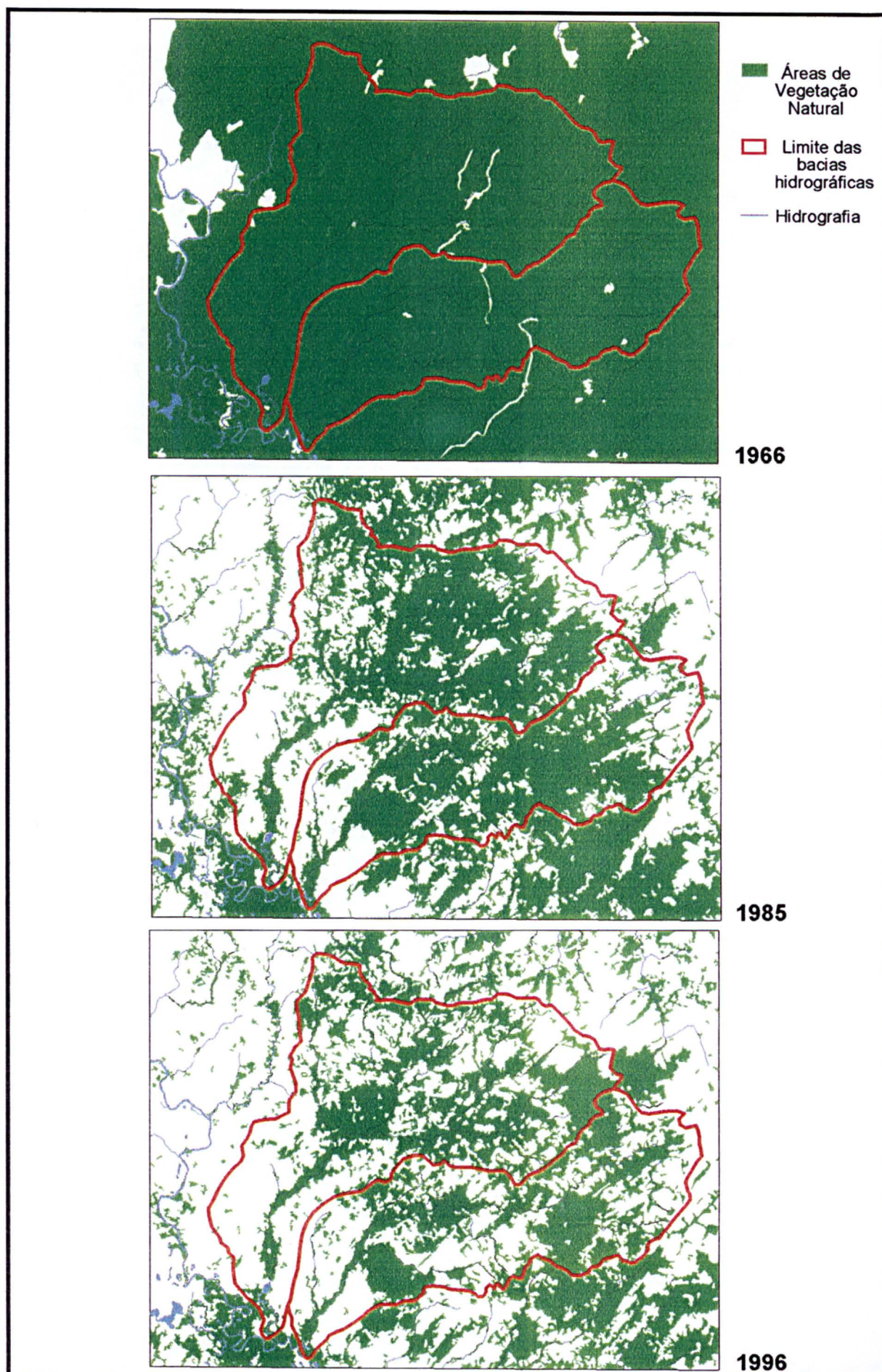


Figura 35 - Áreas de vegetação natural para cada ano em estudo.

Para homogeneizar os dados de 1966, foram atribuídos códigos iguais, mas como a legenda não possui os códigos do CORINE, tendo sido adquirida da carta topográfica, os significados diferem um pouco. Estes códigos de cobertura do solo e o seu significado podem ser observados na Tabela 9.

Reagrupamento do código CORINE	Sigla	Significado
1.1.1	URB	Áreas urbanas
2.1.1 + 2.3.1	AGR	Superfície agrária
3.1.1 + 3.2.2	FOR	Superfície de vegetação natural
3.2.1 + 3.2.4	ESP	Superfície de pasto natural ou vegetação esparsa
3.3.2 + 3.3.3 + 3.3.4	DES	Áreas descobertas ou sem vegetação
4.1.1 + 5.1.1	AGU	Áreas úmidas e corpos d'água

Tabela 8 – Reagrupamento do código CORINE (1985/1996) e seu significado.

Legenda obtida nas cartas topográficas	Sigla
Áreas urbanas	URB
Culturas	AGR
Campos	ESP
Mata / Cerrado	FOR
Rios / Lagos e Lagoas	AGU

Tabela 9 – Significado do código de uso do solo obtida nas cartas topográficas.

Na carta derivada, foi criado um novo atributo (*change*) representativo da mudança observada em cada polígono. O significado de tal atributo foi definido através do critério de seleção lógica, aplicado ao código de uso do solo original, como mostra o exemplo abaixo:

Select código 66 = FOR and código 85 = AGR

Calc item change = FOR_AGR

Neste caso, o polígono selecionado era ocupado por vegetação natural em 1966 e por superfície agrária em 1985. A Tabela 10 ilustra como foi definido o atributo *change* em cada classe.

1966 1985/1996	URB	AGR	ESP	FOR	AGU
URB	urb urb	agr urb	esp urb	for urb	agu urb
AGR	urb agr	agr agr	esp agr	for agr	agu agr
FOR	urb for	agr for	esp for	for for	agu for
ESP	urb esp	agr esp	esp esp	for esp	agu esp
DES	urb des	agr des	esp des	for des	agu des
AGU	urb agu	agr agu	esp agu	for agu	agu agu

Tabela 10 – Definição do atributo *change*, mudança ocorrida na cobertura do solo de determinada área.

Para cada ocorrência do atributo *change*, na carta derivada, foi calculado a área do polígono correspondente. Observa-se na Tabela 11 e nas Figuras 36 e 37 a variação das diversas classes consideradas, independente da destinação do uso, para cada bacia em estudo.

Classes	Bacia	1966		1985		1996	
		hectares	%	hectares	%	hectares	%
AGR	Arica-Açu	74,00	0,04	18.761,32	11,19	50.617,23	30,20
	Arica-Mirim	-	-	14.417,81	11,41	40.832,42	32,32
AGU	Arica-Açu	292,80	0,17	4.066,78	2,43	2.459,19	1,47
	Arica-Mirim	51,78	0,04	1.094,30	0,87	1.041,10	0,82
DES	Arica-Açu	-	-	4.309,43	2,57	6.913,51	4,13
	Arica-Mirim	-	-	3.571,62	2,83	2.190,39	1,73
ESP	Arica-Açu	1.120,88	0,67	39.936,74	23,83	24.338,06	14,52
	Arica-Mirim	677,16	0,54	26.916,03	21,30	18.422,32	14,58
FOR	Arica-Açu	166.111,98	99,11	100.525,40	59,98	80.272,01	47,90
	Arica-Mirim	125.624,35	99,42	80.353,52	63,59	63.867,06	50,55
URB	Arica-Açu	-	-	-	-	2.999,67	1,79
	Arica-Mirim	-	-	-	-	-	-

Tabela 11 – Variação das diversas classes de cobertura do solo, para ambas as bacias, nos três anos considerados.

Observa-se claramente, em ambas as bacias, uma mudança atribuída essencialmente a intervenção antrópica, com o aumento de áreas de pastagem e agricultura em áreas antes ocupadas por vegetação natural. É evidenciada uma drástica redução da área de vegetação natural, composta de matas ou cerrado. Estas ocupavam 99% do total da área de ambas as bacias em 1966. Deste total, 24% passou à áreas de vegetação esparsa ou pastagem em 1985, na bacia do Arica-Açu, e 21 % na bacia do Arica-Mirim. Em ambas as bacias, 11% do total de vegetação natural foi devastado para uso agrícola em 1985. Do que restou da

vegetação natural, mais 24% em ambas as bacias foi devastado até o ano de 1996, para o uso agrícola.

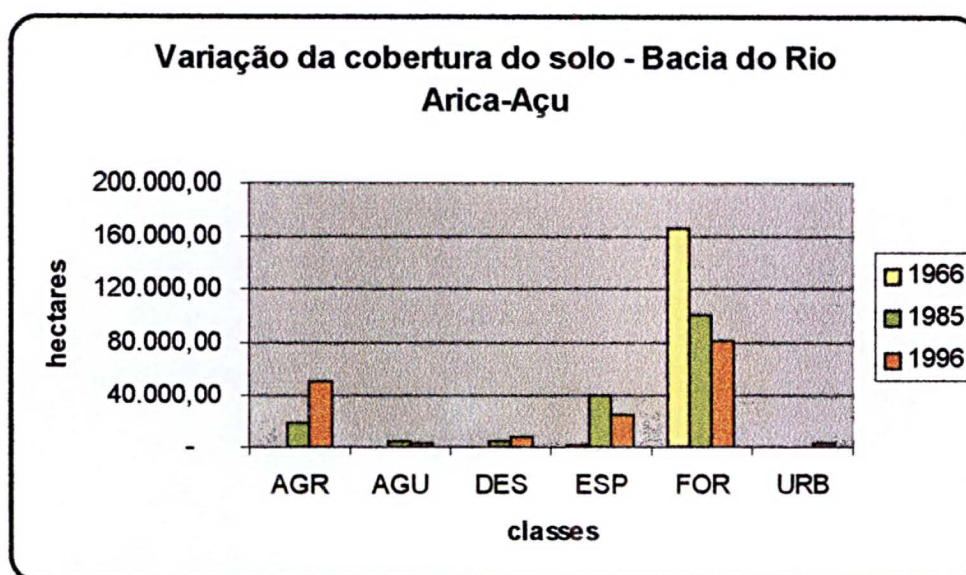


Figura 36 – Variação das diversas classes de cobertura do solo nos três anos considerados, independente da destinação do uso, para bacia do Rio Arica-Açu.

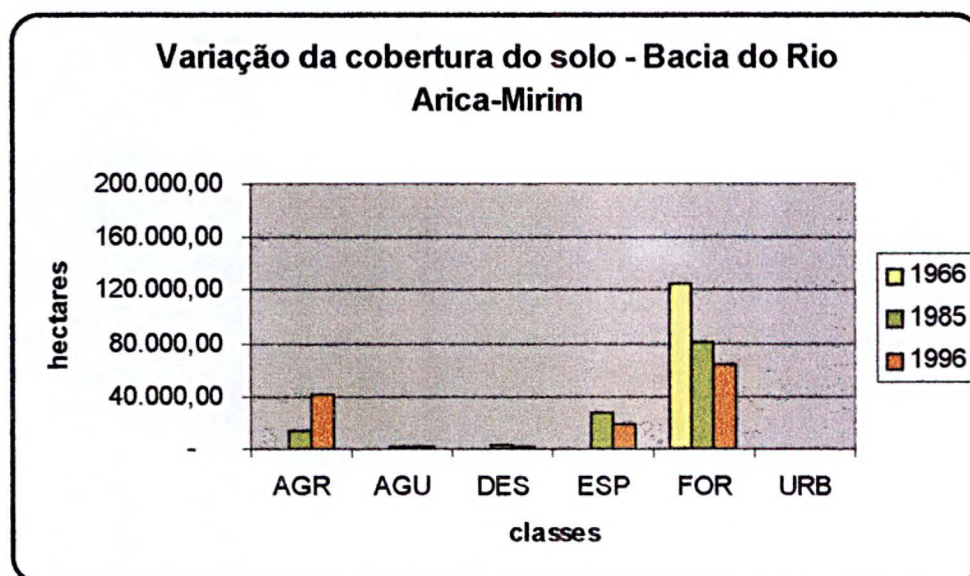


Figura 37 – Variação das diversas classes de cobertura do solo nos três anos considerados, independente da destinação do uso, para bacia do Rio Arica-Mirim.

Por si só, isto já representa um aspecto gravíssimo de degradação ambiental, constituindo-se em um fator preocupante pela consequência sobre a dinâmica territorial em larga escala. Em uma área tropical, um dos fatores fundamentais que limita e controla a erosão é a presença de húmus, característico do solo de mata, porque une a capacidade de absorver o impacto da gota da chuva, com uma alta permeabilidade e estrutura compacta. As

raízes profundas e resistentes das árvores contribuem também para estabilizar as encostas com declividade alta. O desaparecimento de tais elementos naturais altera notavelmente o equilíbrio de erosão e sedimentação em todo o território limítrofe. Em geral, quanto maior é a área desflorestada de uma bacia hidrográfica, maior é a quantidade de sedimentos transportado por unidade de área (GOUDIE, 1993).

Parte da área classificada como descoberta (DES) correspondente às classes 3.3.3, 3.3.2 e 3.3.4, observadas nas imagens e não observadas no ano de 1966, estão distribuídas em zonas acidentadas, com declividades altas, o que vem a evidenciar fenômenos erosivos irreversíveis, ou de difícil recuperação.

O aumento de áreas urbanizadas, para 1,80% do total em 1996, para a bacia do Rio Arica-Açu, é totalmente devido à cidade de Cuiabá, que está avançando no sentido oeste, ocupando áreas de cerrado ou pastagem natural.

2- Evolução do processo erosivo

Como consequência da mudança na cobertura do solo da área em estudo, verifica-se um aumento na erosão laminar em ambas as bacias. Isto pode ser quantificado, aplicando a Equação Universal de Perdas de Solos, utilizando os dados de cobertura do solo dos três anos em estudo.

O processo de aplicação da EUPS foi o mesmo utilizado anteriormente para o ano de 1966, descrito no capítulo 2. Para a comparação da evolução da erosão laminar, aplicou-se novamente a equação, utilizando os mesmos dados para os fatores R, K e LS. Para o fator CP dos anos de 1985 e 1996, foram utilizados os dados obtidos nas imagens LANDSAT, de cobertura do solo. Adaptou-se os dados da legenda CORINE, utilizada nas cartas de cobertura do solo de 1985 e 1996, com a tabela de categorias de ocupação e valores correspondentes de CP (Tabela 3). O valor de CP para cada classe do CORINE pode ser observada na Tabela 12.

Para cada polígono de cada carta foi acrescentado o valor de CP, no novo item criado **Fator_CP**. Cada carta foi sobreposta com os outros mapas temáticos, de erodibilidade (Fig. 12), de declividade (Fig. 14) e de solos (Fig. 10), criando então duas novas coverages: *Total_A_85* e *Total_A_96*.

Código CORINE	Categoria	Valor de CP
1.1.1	7a- Área urbanizada	0,00
2.1.1	5c- Cultura temporária	0,20
2.3.1	5b- Pastagem	0,01
3.1.1	1a- Floresta	0,00004
3.2.1	4d- Campo cerrado	0,01
3.2.2	2b- Cerrado	0,0007
3.2.4	5a- Cobertura residual	0,10
3.3.2	5a- Cobertura residual	0,10
3.3.3	4e- Campo natural	0,01
3.3.4	5a- Cobertura residual	0,10
4.1.1	6a- Várzea	0,00
5.1.1	6b- Espelho d'água	0,00

Tabela 12 – Valor de CP atribuída a cada classe do código CORINE.

Foram multiplicados os valores de todos os fatores, como para o ano de 1966, onde cada polígono passou a ter o valor de A em ton/ha.ano. Os resultados foram hierarquizados em 5 classes de potencial à erosão (descritos anteriormente página 55). Os resultados, estão evidenciados nas Figuras 38 e 39.

Nestas figuras vê-se claramente o aumento da erosão laminar em relação ao ano de 1966 (Fig. 17). A bacia do Rio Arica-Mirim apresenta índices de erosão mais altos que a outra bacia, como pode ser observado também na Tabela 13 e nos gráficos das Figuras 40 e 41.

Isto ocorre porque a bacia do Rio Arica-Mirim apresenta uma área maior de terreno mais acidentado, associado a solos litólicos e areias quartzosas, que apresentam os maiores índices de erodibilidade. Estes fatores, juntamente com o fator de cobertura do solo observados nos anos de 1985 e 1996 resultou em um potencial à erosão laminar alto. Em 1985 a área com potencial a erosão muito alto correspondia a 9,49% do total, e em 1996 teve um aumento de área para 11,60%.

Estes valores são altos, considerando que em 1966 esta bacia apresentava 99% da área com potencial muito baixo, e 1% com potencial baixo. A comparação visual entre as figuras 17, 38 e 39 mostra o rápido avanço do processo erosivo na área estudada.

Figura 38 - Carta Potencial à Erosão da área em estudo, para o ano de 1985.

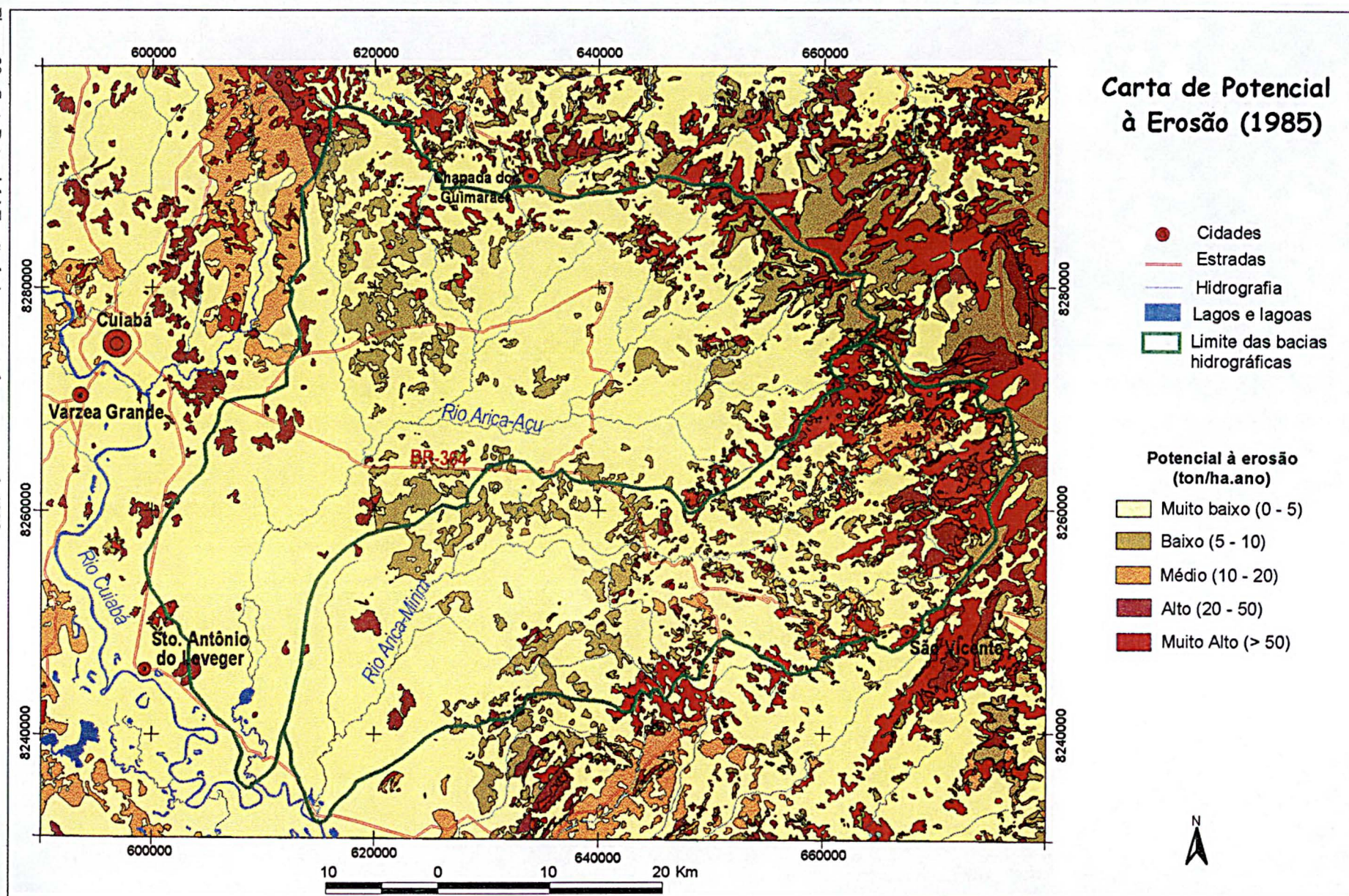
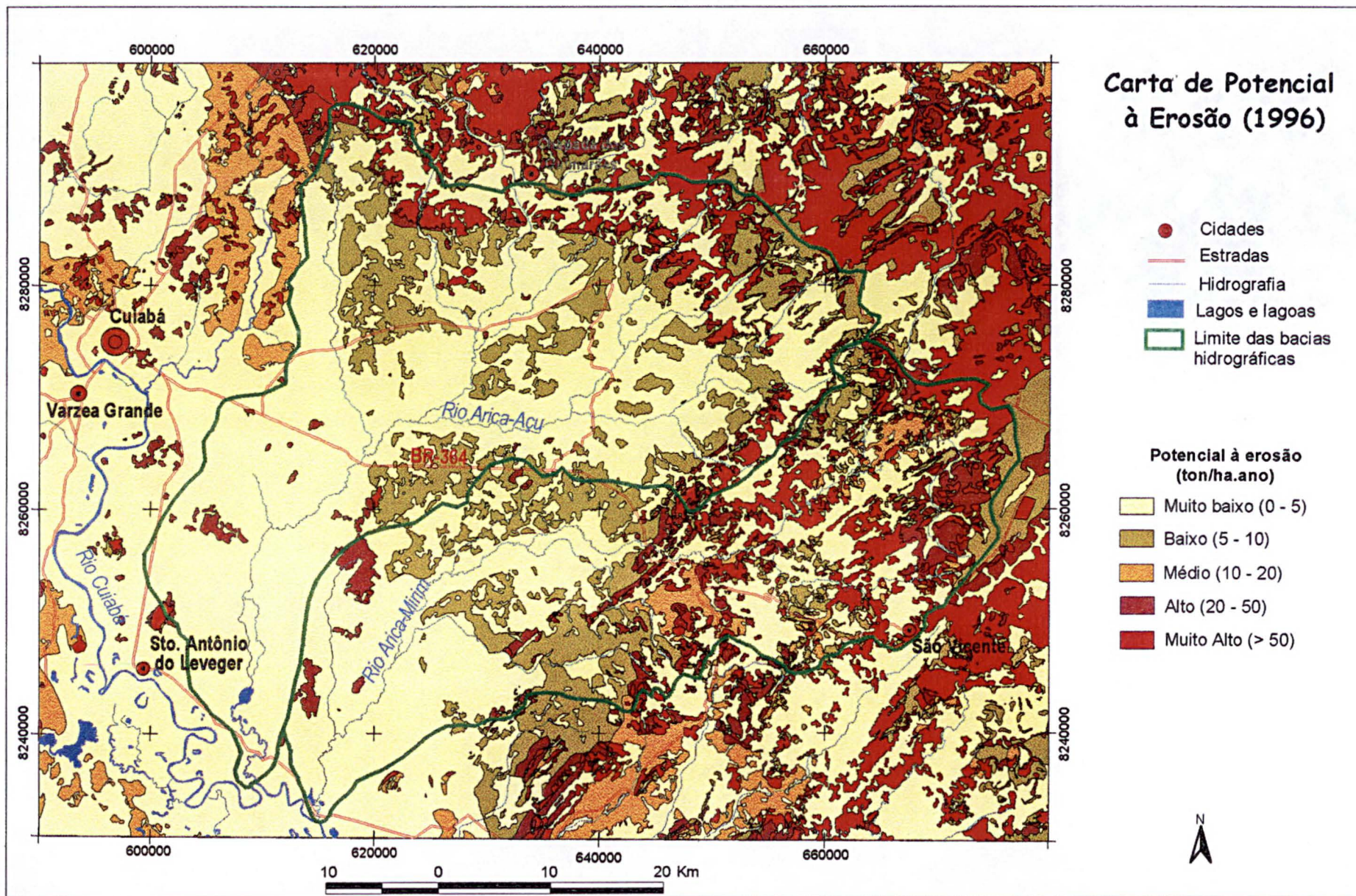


Figura 39 - Carta Potencial à Erosão da área em estudo, para o ano de 1996.



Classes		1		2		3		4		5		total
	Ano	(hectares)	%	(hectares)	%	(hectares)	%	(hectares)	%	(hectares)	%	%
Bacia do Rio Arica-Açu	1966	163.861,21	97,77	3.664,45	2,19	-	0,00	9,79	0,01	64,20	0,04	100,00
	1985	136.009,47	81,15	19.758,21	11,79	214,05	0,13	6.181,43	3,69	5.436,51	3,24	100,00
	1996	119.920,71	71,55	31.163,62	18,59	136,46	0,08	5.903,10	3,52	10.475,80	6,25	100,00
Bacia do Rio Arica-Mirim	1966	124.996,65	98,93	1.356,63	1,07	-	0,00	-	0,00	-	0,00	100,00
	1985	88.627,44	70,14	14.499,09	11,48	4.097,52	3,24	7.136,24	5,65	11.992,37	9,49	100,00
	1996	71.662,40	56,72	23.290,22	18,43	5.305,28	4,20	11.434,83	9,05	14.662,57	11,60	100,00

Tabela 13 – Variação do potencial à erosão nos três anos estudados para ambas as bacias.

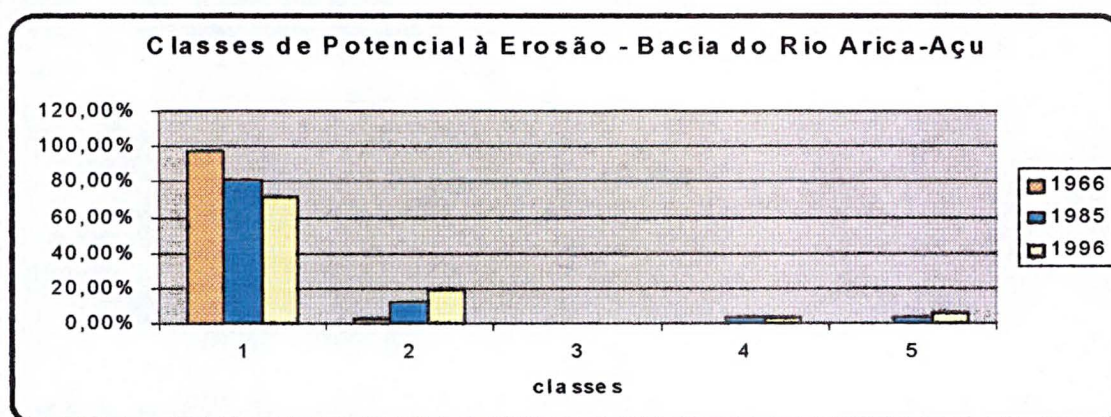


Figura 40 – Variação do potencial à erosão nos três anos estudados para bacia do Rio Arica-Açu.

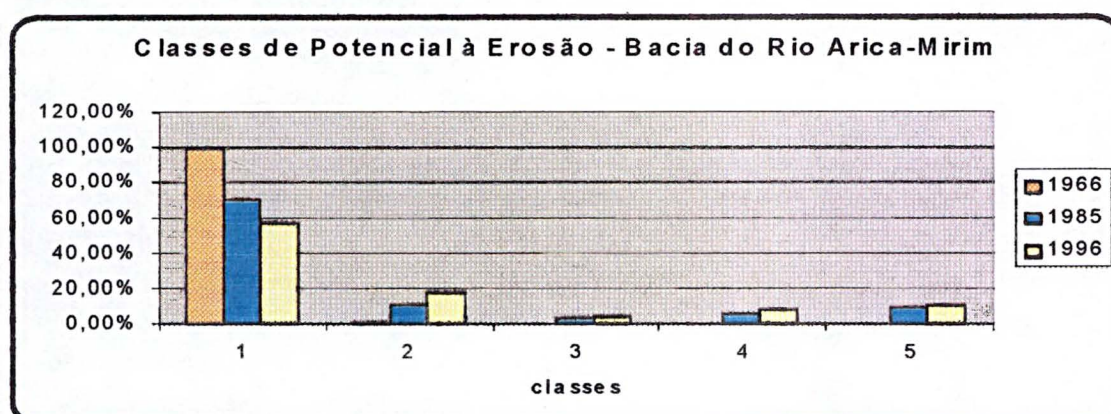


Figura 41 – Variação do potencial à erosão nos três anos estudados para bacia do Rio Arica-Mirim.

Na bacia do Rio Arica-Açu, observam-se os maiores índices de potencial à erosão na região das escarpas da Chapada dos Guimarães. Estas áreas além de apresentar declividades altas, estão associadas com solos litólicos, que possuem índices de erodibilidade

altos. Este tipo de relevo já apresenta, por si só um valor de potencial natural à erosão alta, levando-se em conta os fatores naturais, sem cobertura do solo, como declividade, erodibilidade do solo e erosividade da chuva. Quando associados ao fator de cobertura do solo, como matas e cerrado, que protegem o solo, o potencial à erosão pode ser baixo, como é o caso observado em 1966. Mas em 1985 e 1996, com o uso intensivo destas áreas na forma de pastagens e agricultura, o potencial à erosão aumentou muito. Em 1985 observam-se somente algumas pequenas áreas, com índices alto ou muito alto, perfazendo cerca de 3% do total da área para ambos os índices. Mas em 1996, o total de áreas dobrou, com índices muito altos de potencial à erosão, passando para 6%,

Outra área que se destaca por um potencial alto é o extremo nordeste da área em estudo, correspondente ao Planalto dos Guimarães. Estas áreas são largamente ocupadas por pastagens e, principalmente por agriculturas, por ser uma região praticamente plana, com declividade variando entre 5 e 15 %, facilitando a mecanização. Além disso é formada por Latossolo Vermelho Escuro e Vermelho Amarelo, de ótima qualidade para agricultura, e que apresentam erodibilidade baixa. Entretanto, os índices de erosividade da chuva são bastante altos, variando entre 7200 a 9200. Mesmo sendo uma área favorável ao uso do plantio, se faz necessário o uso de métodos adequados de preparo do solo e de um planejamento conservacionista da área, para evitar que a erosão laminar atinja índices mais elevados.

2.1 – Cálculo da perda de solo para cada bacia

A erosão laminar é uma forma de erosão dificilmente perceptível. É a lavagem da superfície do solo nos terrenos arados. A remoção de camadas delgadas de solo sobre toda uma área é a forma de erosão menos notada, por isso a mais perigosa. A erosão laminar arrasta primeiro as partículas mais leves do solo e, considerando que a parte mais ativa do solo, de maior valor nutritivo, é aquela integrada pelas menores partículas, pode-se avaliar os seus efeitos negativos sobre a fertilidade do solo (BERTONI & LOMBARDI, 1985).

Para se ter uma média de quanto cada bacia de drenagem está perdendo de solo por ano, fez-se a soma do total de perdas de solo, dividindo pela área da bacia, como mostra a equação abaixo:

$$A_t = \frac{A^1 + A^2 + A^3 + A^n}{a}$$

Onde: A_t = média de perda total de solo na bacia
 A^n = total de perdas de solo de cada polígono
 a = área da bacia

O total de perdas de solo para cada bacia nos três anos em estudo foi o seguinte:

	1966	1985	1996
Arica-Açu	0,018	3,25	7,22
Arica-Mirim	0,020	7,82	15,80

Tabela 14 – Perdas de solo total em cada bacia, nos três anos em estudo, em ton./ha.

Para o ano de 1966, a erosão nas duas bacias era mais ou menos igual. Ambas mostraram um salto no processo erosivo de 1966 para 1985, com cerca de 180 vezes para a bacia do Arica-Açu e cerca de 390 vezes para a bacia do Arica-Mirim. De 1985 a 1996 o processo erosivo em ambas as bacias dobrou. Considerando a erosão verificada em 1966 e 1996, a bacia do Arica-Açu mostra um aumento de 400 vezes, enquanto a bacia do Arica-Mirim de cerca de 790 vezes. Observa-se que a bacia do Rio Arica-Mirim teve um aumento de erosão muito maior que a outra bacia, mais do que o dobro, em ton./ha.

Esses valores assumem maior importância se considerarmos o aspecto representativo e peculiar das bacias hidrográficas em estudo. Ambas são formadas por tributários do Rio Cuiabá, que juntamente com outros rios, formam a bacia do Alto Paraguai e determinam a formação da área úmida do Pantanal. A consequência do impacto ambiental, e consequente aumento de solo erodido observado na área em estudo, se reflete em todo o ambiente do Pantanal, determinando consequente assoreamento da área úmida, com mudança no regime de inundação.

3- Tolerância de Perdas de Solo

Tolerância de perdas de solo é a quantidade de terra que pode ser perdida por erosão, expressa em toneladas por unidade de superfície e por ano, mantendo ainda o solo elevado nível de profundidade por longo período de tempo. Essa tolerância reflete a perda máxima de solo que se pode admitir, com um grau de conservação tal que mantenha uma produção econômica em futuro previsível com os meios técnicos atuais (BERTONI & LOMBARDI, 1985).

O problema está em decidir o quanto de erosão é permissível ou tolerável. Para se saber o quanto de perdas de solos é tolerável para cada tipo de solo encontrado na área em estudo, usou-se o mesmo procedimento estabelecido por LOMBARDI & BERTONI, 1975, onde realizaram uma tentativa de estabelecer padrões de tolerância de perdas de solo do estado de São Paulo, levando em consideração sua profundidade e algumas propriedades físicas. O critério adotado para escolha das propriedades do solo, consideradas essenciais no estabelecimento de padrões limite de tolerância foi subjetivo: baseou-se principalmente na profundidade do solo favorável ao desenvolvimento do sistema radicular e na razão textural dos horizontes superficiais.

O procedimento estabelecido pelos autores acima citados, e aplicado neste estudo, foi, em síntese o seguinte:

- **Profundidade do solo:** a profundidade do solo favorável ao desenvolvimento do sistema radicular é, sem dúvida, a característica mais importante para o estabelecimento dos limites de tolerância de perdas por erosão. Para solos bem desenvolvidos, como os latossolos, a profundidade máxima admitida para o desenvolvimento do sistema radicular foi de 1,0 metro.
- **Razão textural entre os horizontes superficiais e os subsuperficiais:** a razão textural, de argila, entre esses horizontes afeta principalmente a infiltração e a permeabilidade do solo. Uma razão textural de argila alta, indica uma capacidade de infiltração menor nos horizontes de subsuperfície, acelerando, com isso, a intensidade de erosão dos superficiais. BERTONI & LOMBARDI NETO (1985) estabeleceram o seguinte critério para o cálculo de peso de solo por unidade de superfície de cada horizonte de perfil do

solo: (a) quando o valor da razão textural é inferior a 1,5, consideraram para cada horizonte estudado do perfil, o peso total de solo por hectare do horizonte; (b) quando o valor da razão textural é 1,5 a 2,5, consideraram para os horizontes superficiais apenas 75% do seu peso de solo por hectare, e 75% da espessura do horizonte de subsuperfície logo abaixo do horizonte A; (c) quando o valor da razão textural é maior do que 2,5, consideraram para os horizontes superficiais 50% do seu peso de solo por hectare, e 50% da espessura do horizonte de subsuperfície logo abaixo do horizonte A.

- **Escolha dos horizontes no perfil de solo:** observando os critérios estabelecidos, os autores escolheram os horizontes de cada perfil de solo para o cálculo dos limites de tolerância de perdas de solo. As seguintes exceções foram verificadas: (a) não foi incluído para o cálculo o horizonte superior ao C ou R, à exceção dos litossolos; (b) os horizontes B3 não foram incluídos nos cálculos.
- **Cálculo da quantidade de terra por unidade de superfície:** para cada horizonte considerado do perfil de solo, foi medida sua espessura e a densidade de solo, calculando o peso de solo por unidade de superfície, levando em conta o critério adotado para a relação textural entre ambos os horizontes. O cálculo foi efetuado com a equação, considerando a unidade de superfície igual a 100 cm:

$$P = 100 \times h \times d$$

Onde:

P = peso de terra em um hectare, t/ha;

h = espessura do horizonte, cm;

d = densidade do solo, g/cm³.

O total de solo do perfil da unidade do solo foi obtido somando a quantidade de solo de cada horizonte considerado.

- **Período de tempo para desgastar a quantidade de solo da unidade de superfície:** Verificou-se que é necessário cerca de um milênio para desgastar aquela quantidade de solo por unidade de superfície, não considerando nos cálculos a formação de solos por fenômenos de intemperismo. Dividindo por 1.000 o peso de solo por unidade de

superfície, tem-se a tolerância de perdas de solo por ano para cada unidade de solo, ou seja, a quantidade máxima de solo que o solo pode perder por ano, mantendo-se ainda com certo nível de produtividade.

Como seria inviável obter análises atuais de cada solo da área em estudo, utilizou-se os dados dos perfis do Projeto RADAM BRASIL (1982) e do Projeto PCBAP (1997). Foram escolhidos os perfis que estavam dentro da área em estudo ou muito próximos. Quando mais de um perfil do mesmo tipo de solo foi encontrado na área, fez-se a média entre eles, como é o caso dos Latossolos Vermelho Amarelo e Vermelho Escuro e dos Solos Concrecionários.

Todos os dados obtidos nos perfis e os obtidos através de equações, assim como o valor de tolerância de perdas de solo, para cada solo, podem ser observados na Tabela 14.

A coluna de **Textura** foi obtida através da média ponderada do conteúdo de argila pela espessura do nível de cada horizonte do solo, como mostra a equação abaixo:

$$T = \frac{\sum e_i a_i}{h}$$

onde: e_i = espessura do nível
 a_i = argila < 0,002 mm
 h = espessura do horizonte

A coluna de **Razão textural** obteve-se através da equação:

$$Rt = \frac{\overline{XB}}{\overline{XA}}$$

onde: \overline{XB} = textura do horizonte B
 \overline{XA} = textura do horizonte A

Como exemplo, é citado o cálculo realizado para o solo Glei Pouco Húmico:

$$\text{Textura do horizonte A - } T = \frac{25 \times 45 + 30 \times 19 + 20 \times 32}{25 + 30 + 20} = 31,13$$

$$\text{Textura do horizonte B - } T = \frac{20 \times 58 + 25 \times 56}{20 + 25} = 56,89$$

$$\text{Razão textural - } Rt = \frac{56,89}{31,13} = 1,83$$

$$\text{Peso do solo - Horizonte A11 - } P = 100 \times 25 \times 1,83 = 4575 \text{ ton.}$$

$$\text{Horizonte A12 - } P = 100 \times 30 \times 1,83 = 5490 \text{ ton.}$$

$$\text{Horizonte A2cn - } P = 100 \times 20 \times 1,83 = 3660 \text{ ton.}$$

$$\text{Horizonte B21tpl - } P = 100 \times 15 \times 1,83 = 2475 \text{ ton.}$$

Como a Razão textural foi de **1,83**, considerou-se para os horizontes superficiais apenas 75% do seu peso, ou seja, **3431,25 – 4117,50 – 2745** para os horizontes A11, A12 e A2cn, respectivamente. Para o horizonte de subsuperfície (B21tpl), foi considerado apenas 75% da espessura, Somando-se o peso de cada horizonte considerado, obtém-se o peso total do solo, neste caso igual a **13038,75**. Dividindo, então, o peso do solo por 1000, tem-se a tolerância de perdas de solo para o solo Glei Pouco Húmico igual a **13,04**.

Assim este cálculo foi realizado para todos os tipos de solo encontrado na área em estudo, e a tolerância de perdas de solo pode ser observado na Tabela 14.

Com estes dados em mãos, foi possível analisar nas cartas de Perdas Efetivas de Solo, quais as áreas que estão perdendo solo acima da tolerância permitida. Nestas áreas, evidenciadas nas Figuras 42, 43 e 44 deve-se dar mais atenção ao tipo de cultivo ou cobertura vegetal que se está aplicando ao solo. Se está se perdendo acima do tolerável, o solo está se desgastando muito rapidamente, sem que haja tempo de reconstituir suas propriedades físicas e químicas e assim a qualidade do solo para agricultura irá se degradando com o tempo.

Solo	horizonte	Espessura (cm)		Argila <0,002mm	Textura	Razão textural	Densidade do solo (g/cm³)	Peso (t/ha)	Tolerância de perda de solo (ton/ha.ano)	
Areia Quartzosa Perfil - 259	A1	5		4,7	5,38	---	1,43	715	2,86	
	AC*	15		5,6				2145		
	C1	60		6,7				---		
	C2	80		7,2				---		
								Total: 2860		
Glei Pouco Húmico Perfil - 244	A11	25		45	31,13	1,83	1,83	4575	13,04	
	A12	30		19				3431,25		
	A2cn	20		32				5490		
	B21tpl	20	15	58				4117,50		
	B22*	25	18,75	56				3660		
	CX	80		20				2745		

Latossolo Vermelho Escuro Perfil - 37	A1	10		45	49,35	1,14	1,83	1830	17,38	
	A3	15		52,2				2745		
	B1	25		59				4575		
	B21	45		57,6				8235		
	B22	65		54,4				---		
								Total: 17385		
Latossolo Vermelho Escuro Perfil - 54	A1	25		12	13,23	1,41	1,83	4575	14,64	
	A3	10		16,3				1830		
	B1	45		18,3				8235		
	B21	45		18				---		
	B22	35		20,2				---		
								Total: 14640		
Latossolo Vermelho Amarelo Perfil - 253	A1	10		21,8	29,08	1,45	1,83	1830	20,13	
	A3	15		33,9				2745		
	B1	25		39,8				4575		
	B21	60		43				10980		
	B22	40		42,9				---		
								Total: 20130		
Latossolo Vermelho Amarelo Perfil - 245	A1	10		21,3	24,9	1,15	1,83	1830	20,13	
	A3	20		26,7				3660		
	B1	35		27,7				6405		
	B21	45		29,2				8235		
	B22	40		28,6				---		
								Total: 20130		
Podzólico Vermelho Amarelo Perfil - 240	A1	15		21,29	20,54	1,61	1,83	2747	15,15	
	A3	25		20,09				4575		
	B1	30	22,50	25,86				4117,50		
	B21	40	30	41,32				5490		
	B3*	70	52,50	31,61				---		
								Total: 15148,50		
Solos Concrecionários Perfil - 234	A1cn	25		27	18,9	2,55	1,83	4575	11,60	
	A21cn	27		15				2287,50		
	A22cn	25		15				4941		
	B21ten	33	24,75	41				4575		
	B22ten*	35	26,25	55				4559,25		
	C	55 +		51				---		
								Total: 11604,75		
Solos Concrecionários Perfil - 239	A1cn	10		8,1	9,84	1,39	1,83	1830	9,15	
	A3cn	15		11				2745		
	(B)cn	25		13,7				4575		
								Total: 9150		
Laterita Hidromórfica	A11	5		19	26,13	1,56	1,56	780	16,46	
	A12	10		17				1560		
	A2	8		21				1248		
	A3	17		36				2652		
	B1tpl	10	7,50	53				1170		
	B21tbl	65	48,75	40				7605		
	B22tg*	85	63,75	40				---		
	IIC	40		13				---		
								Total: 13455		
Solos Litólicos	A11	20		16,4	---	---	0,68	1360	4,76	
	A12	20		14,4				1360		
	C	30		13,0				2040		
	R	-----		-----				---		
								Total: 4760		

Tabela 15 - Dados obtidos dos perfis de solos do Projeto RADAM BRASIL (1982) e do Projeto PCBAP (1995), e a tolerância de perdas de solo obtida para cada tipo de solo da região em estudo.

Figura 42 - Carta de Perda Efetiva de Solos para o ano de 1966.

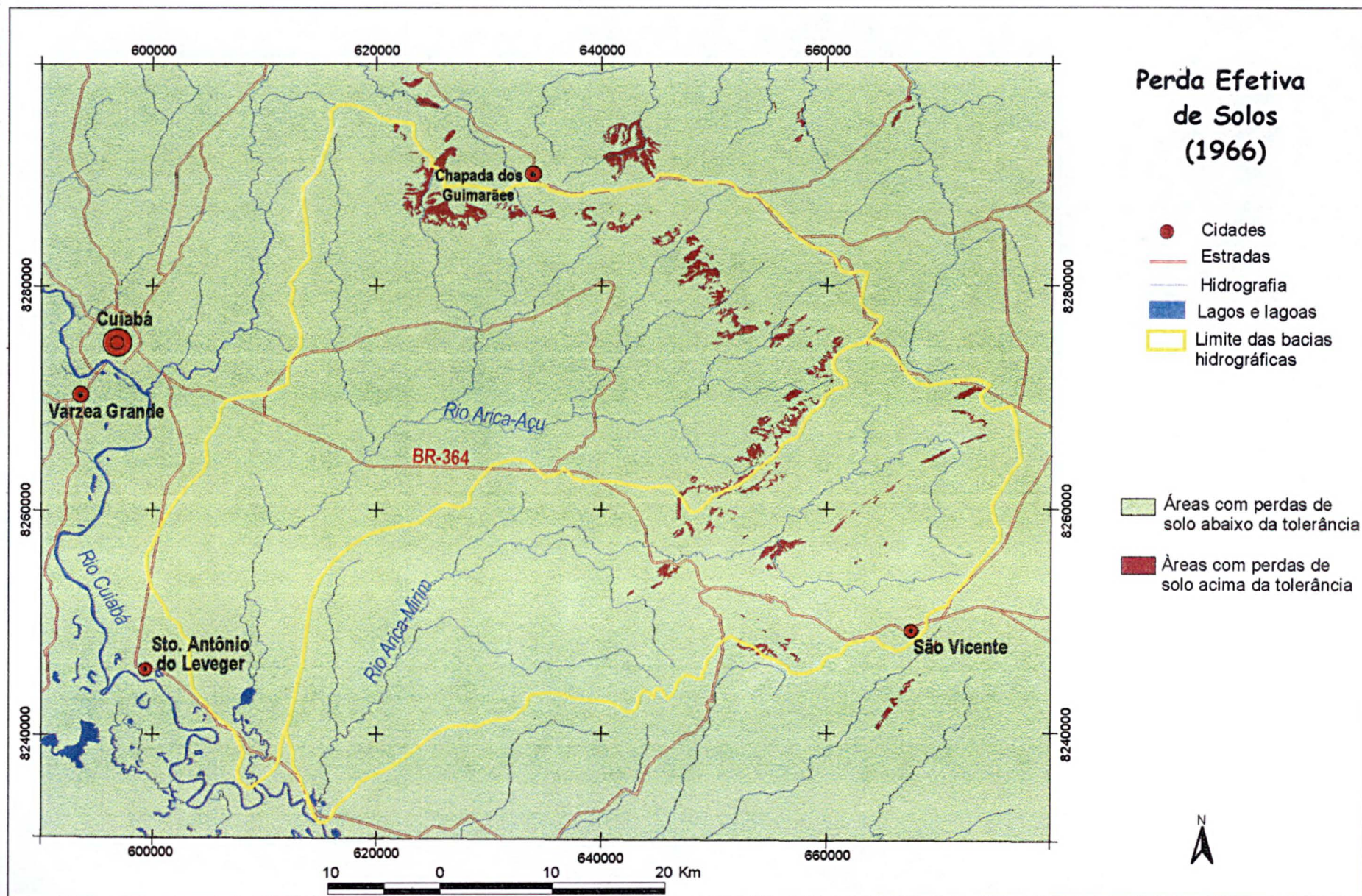


Figura 43 - Carta de Perda Efetiva de Solos para o ano de 1985.

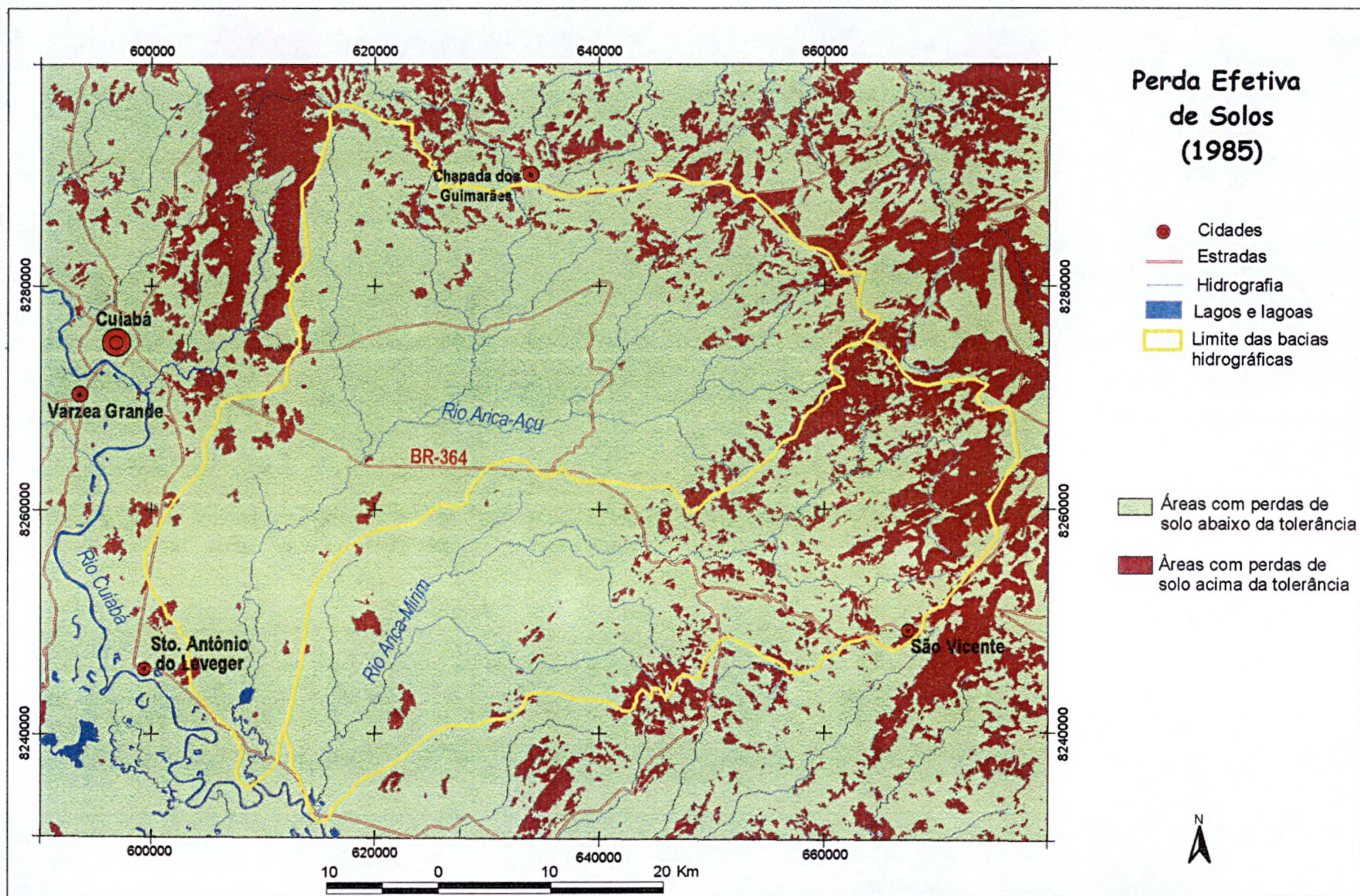
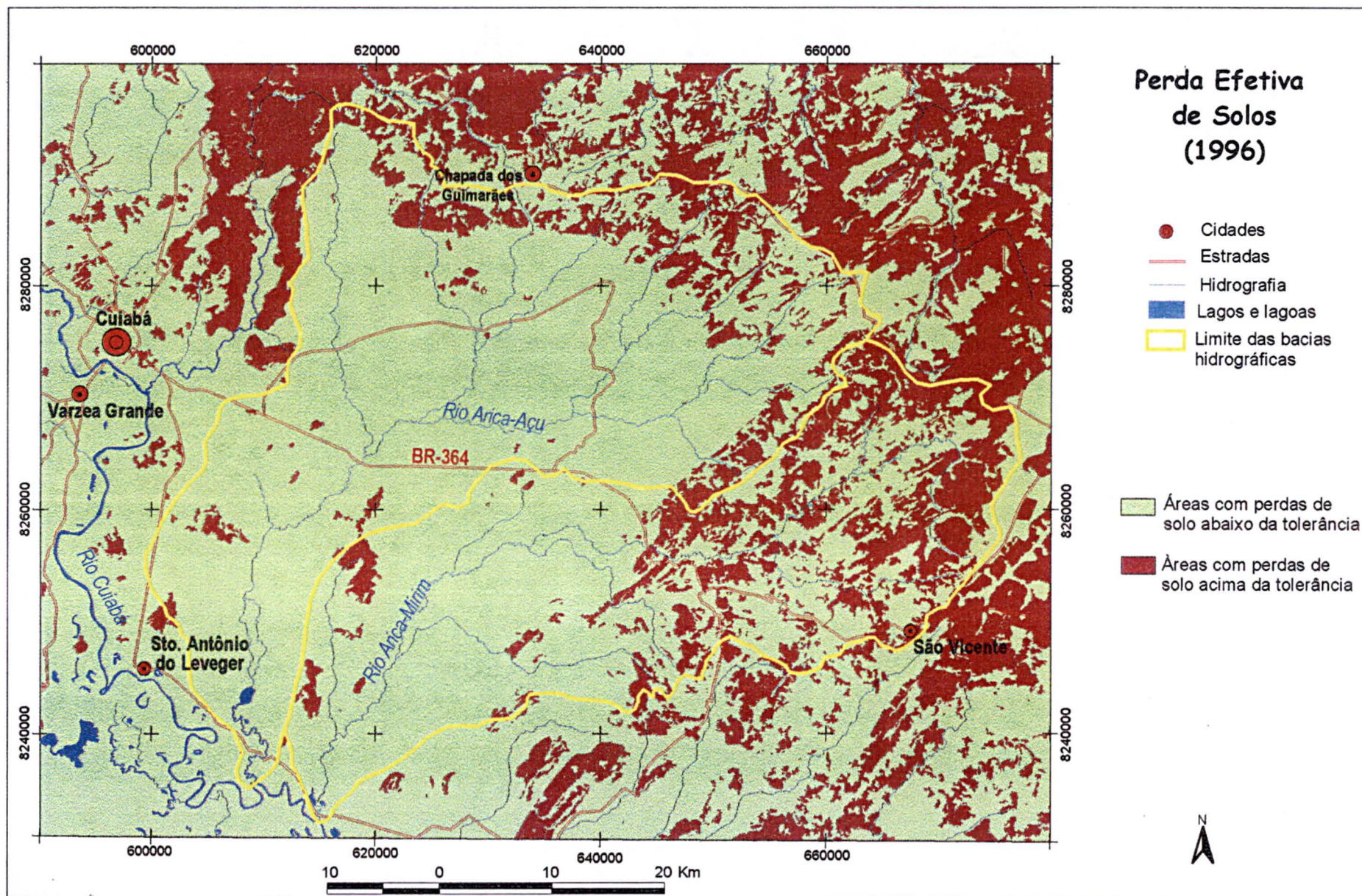


Figura 44 - Carta de Perda Efetiva de Solos para o ano de 1996.



Capítulo V

1. Conclusões

O resultado obtido pela análise dos dados e as cartas temáticas elaboradas, representam aspectos significativos e específicos da dinâmica ambiental da área de estudo.

As cartas multitemporais de cobertura do solo evidenciaram a transformação do território nos últimos trinta anos por intervenção antrópica, seguindo uma tendência constante de 1966 até 1996:

- Em 1966, as áreas de superfície agrária, ou pastagens, eram inexistentes na bacia do Rio Arica-Mirim, e havia uma pequena área, de 74 hectares, de superfície agrária, na outra bacia, correspondente a 0,04% do total;
- Em 1985, as áreas com superfícies agrárias aumentaram para 11% em ambas as bacias;
- E em 1996, estas áreas já correspondiam a mais de 30% do total da área em ambas as bacias.

Em consequência, houve uma diminuição drástica nas áreas de cobertura vegetal natural, nas bacias em estudo:

- No ano de 1966, as áreas de cobertura vegetal natural correspondiam a cerca de 99% da área total;
- Em 1985, as áreas de cobertura vegetal natural correspondiam a 60% e 64% da área total, para as bacias do Rio Arica-Açu e Arica-Mirim, respectivamente;
- E em 1996, a área total de cobertura vegetal natural, diminuiu para menos de 50% em ambas as bacias.

As cartas síntese, de potencial à erosão obtidas para os três anos em estudo salientaram o aspecto evolutivo da erosão, evidenciado pela mudança na cobertura do solo observada pelo período de trinta anos.

- Em 1966, as áreas com potencial à erosão muito baixo, com perdas de até 5 ton./ha.ano, correspondiam a mais de 98% em ambas as bacias, e não havia áreas com perdas acima de 10 ton./ha.ano;

- Em 1985, na bacia do Arica-Açu, áreas com potencial à erosão acima de 10 ton./ha.ano, já correspondiam à 7,06% do total, sendo que 3,24% da área possuía potencial à erosão muito alto, com valores acima de 50 ton./ha.ano. Na bacia do Arica-Mirim, área com perdas de mais de 10 ton./ha.ano correspondiam a 18,38%, sendo que 9,49% da área estava com perdas acima de 50 ton./ha.ano, com potencial de erosão muito alto.
- Em 1996, na bacia do Arica-Açu, as áreas com potencial à erosão acima de 10 ton./ha.ano aumentaram para 9,85% da área, sendo que as áreas com potencial muito alto, dobraram, de 3,24% para 6,25%. A bacia do Arica-Mirim teve um aumento ainda maior na perda de solo por erosão. Áreas com potencial acima de 10 ton./ha.ano correspondem a 24,85% do total. Houve uma diminuição das áreas com potencial de perdas muito baixo, de 70,14% em 1985, para 56,72% em 1996, e um aumento nas áreas com potencial de perdas acima de 50 ton./ha.ano, de 9,49% em 1985 para 11,60% em 1996.

Como consequência do aumento de áreas com potencial à erosão altos, teve-se um aumento do total de solos perdido por ano em cada bacia.

- Em 1966, a bacia do Rio Arica-Açu perdia 2.952,90 ton./ano. A bacia do Arica-Mirim perdia 2.456,42 ton./ano.
- Em 1985, estes valores aumentaram cerca de 180 vezes na bacia do Arica-Açu, saltando para 545.144,88 ton./ano, e cerca de 390 vezes na bacia do Arica-Mirim, perdendo um total de 987.329,16 ton./ano.
- Em 1996, o processo erosivo praticamente dobrou, em ambas as bacias, passando para 1.210.267,75 ton./ano na bacia do Arica-Açu, e 1.997.091,82 na bacia do Arica-Mirim.

A bacia do Arica-Mirim teve um aumento de erosão muito maior que a outra bacia. Considerando a erosão verificada em 1966 e 1996, a bacia do Arica-Açu mostra um aumento de 400 vezes, enquanto que a bacia do Arica-Mirim de cerca de 790 vezes.

As análises para o estabelecimento de padrões limite de tolerância de perdas de solo mostram que os Solos Litólicos e as Areias Quartzosas são os solos que apresentam a menor quantidade de terra que pode ser perdido por erosão, ou seja, a quantidade aceitável de

solos que se poderia perder por ano é de 2,86 ton./ha para as Areias Quartzosas, e 4,76 ton./ha para os Solos Litólicos.

Os Solos Concrecionários, Podzólico Vermelho Amarelo e o Glei Pouco Húmico apresentaram valores que variam de 10 a 15 ton./ha.ano. Os Latossolo Vermelho Escuro e Laterita Hidromórfica, foram os solos que apresentaram o maiores valores de tolerância de perdas de solo, acima de 16 ton./ha.ano.

As cartas de perdas efetivas do solo destacaram as áreas que estão perdendo solo acima de um valor tolerável para cada tipo de solo, evidenciando as áreas que precisam de um controle e monitoramento mais rigoroso:

- Em 1966, somente 1,14% da área estava com perdas de solo acima do tolerável para cada tipo de solo;
- Em 1985, estas áreas tiveram um aumento drástico para 18,67%;
- E em 1996, as áreas com perdas de solo acima do tolerável já correspondiam à 24,91% do total.

A modificação na cobertura do solo nos três anos considerados, juntamente com os outros fatores da Equação Universal de Perdas de Solo, revelaram áreas com altos índices erosivos. Estas áreas foram influenciados principalmente pelo fator CP, porém, também por feições morfológicas e geológicas.

Observa-se que há uma concentração maior de erosão na região do Planalto dos Guimarães, que apesar de apresentar uma topografia plana, predominam solos arenosos, desenvolvidos em relevo dissecado, em formas tabulares e convexas. Os solos dessa região são formados à partir de rochas das Formações Ponta-Grossa e Furnas, e da Formação Botucatu, onde a litologia predominante é o arenito.

Outra área onde os índices erosivos são altos é na escarpa da Chapada dos Guimarães. Nessa área, predominam as forma de dissecação aguçadas, com diferentes ordens de grandeza e de aprofundamento de drenagem, separadas geralmente por vales em V. Predominam os Solos Litólicos, que são bastante rasos, e localizam-se em litologias da Formação Furnas, constituída por arenitos esbranquiçados e avermelhados, médios a grosseiros.

Na Depressão do Rio Paraguai, que é formado basicamente por rochas do

Grupo Cuiabá, os índices erosivos são menores. Nessa área, o relevo é geralmente aplainado, e se destacam algumas cristas, produzidas por rochas mais resistentes. Em algumas destas cristas, observa-se um índice erosivo maior, por existir uma declividade mais acentuada, e estar associado a algum tipo de cobertura vegetal que não seja vegetação natural, que protege mais o solo. Mas no geral, na região das Depressões e nas Planícies e Pantanaís Mato-grossense, a erosão é mínima, por estas áreas serem formadas por formas de acumulação, representadas por planícies fluviais (Apf), e também por áreas deposicionais, sujeitas à inundações periódicas. É nessas áreas que se encontram grande parte dos sedimentos erodidos nas regiões dos Planaltos. E, mesmo nessa região, observa-se algumas áreas que estão perdendo solo acima do limite tolerável para os tipos de solo dessa região.

Os resultados obtidos pelas análises, na área em estudo e descritos acima, são também representativos da variação ambiental ocorrida em quase toda a região do Pantanal. Neste contexto, é de fundamental importância o monitoramento e o estudo da evolução geoambiental das áreas caracterizadas com elevado nível de erosão.

2. Considerações Finais

A utilização das técnicas de GIS para o arquivamento e gestão dos dados através de um banco de dados facilmente consultáveis, ligado às características geográficas da área de estudo, se revelou eficaz para análise e síntese das informações obtidas. O passo fundamental deste estudo foi representado pela integração das imagens de satélite com as informações derivadas da carta topográfica, restituídas em formato digital.

A utilização de imagens de satélite confirmou-se extremamente eficaz para a produção das cartas de cobertura do solo multitemporal nos anos em estudo, fornecendo um parâmetro fundamental para avaliação da evolução do território. A técnica de elaboração digital, unida à interpretação visual dos dados, permitiram um registro das informações corretamente, atendendo bem uma área caracterizada por sua vasta extensão e algumas zonas de difícil acesso. O trabalho de campo auxiliou muito na definição das chaves interpretativas das imagens de satélite, demonstrando-se muito útil para a definição e análise dos dados das imagens e para conhecimento direto da área.

As análises demonstraram características significativas da dinâmica ambiental da área em estudo e no uso e ocupação do solo que, principalmente por intervenção antrópica, têm como consequência um aumento no nível de erosão do solo.

É imprescindível que se amplie e fortaleça uma mentalidade conservacionista que possa conduzir a população ao uso racional do solo, garantindo assim o seu aproveitamento por um tempo maior. O solo é o recurso natural mais intensivamente utilizado para se atender às necessidades de produção contínua de alimentos nas quantidades e variedades exigidas pela espécie humana. Porém, não é uma fonte inesgotável e ilimitada.

A erosão é a principal forma de degradação do solo. É o principal fator que tem conduzido a agricultura a uma diminuição na produtividade e na elevação dos custos de produção. E como foi constatado nas análises efetuadas, as áreas com elevado nível de erosão vem aumentando drasticamente. É necessário uma conscientização geral de que práticas conservacionistas e monitoramento das áreas para plantio e pastagens são extremamente necessários.

Na área estudada, grande parte da vegetação natural é ocupada por cerrado que, pela ausência de cobertura vegetal fechada, facilita a transformação da vegetação nativa em sistemas de produção agropecuária. SANCHES & SALINAS (1983), afirmam que,

diferentemente das regiões de florestas úmidas, no cerrado existe um sistema de produção pecuária extensiva, com manejo de solo praticamente nulo.

Já que há facilidade de implantação de atividades agropecuárias nas áreas de cerrado, deve-se tomar cuidado para que seja feito de forma correta para que a erosão dos solos nestas regiões não atinja níveis excessivos, e que a produção seja satisfatória. Segundo SOBRAL FILHO et al. (1980), o desmatamento e a remoção da vegetação existente deve ser conduzida segundo épocas e técnicas, cuja adequação é função das características regionais, e da cultura a ser estabelecida. Algumas recomendações são sugeridas:

- Dentro de um plano conservacionista, abater a vegetação no final da estação chuvosa, quando a umidade do solo lhe confere menor resistência, facilitando o trabalho e impedindo grande revolvimento do solo, o que poderá remover a matéria orgânica superficial, por ocasião do destocamento. Em operações mecanizadas, utilizar máquinas que causem menor compactação e pulverização do solo;
- Enleirar a vegetação derrubada perpendicularmente aos declives, ou seja, em contorno. As leiras podem fazer o papel de terraço;
- Havendo necessidade do uso da queimada em restos de vegetação, executá-la o mais superficial possível, e sobre solo úmido. Fazer aceiros e esperar alguns dias após a derrubada, para queimar a vegetação.

Referencias Bibliográficas

- ALMEIDA, F. F. M. de Geologia do Centro Oeste Mato-grossense. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia. (215) p. 1-113. Rio de Janeiro, 1964.
- ALMEIDA, F. F. M. de Geologia do Centro Oeste Matogrossense.: **Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia**, Rio de Janeiro, n.15, p. 1-113, 1965.
- ALMEIDA, J.E.L. **Determinação da erosividade das chuvas em Cuiabá, MT.** In: 2^a *Reunião Especial da SBPC, UFMT e SBPC*, 1995.
- ARANOFF, S. **Geographical Information Systems: A Management Perspective.** Ottawa, WDI Publications, 1989.
- ARC/INFO On line Help. ESRI, British Library. Cataloging-in-Publication Data, 1997.
- BERTONI, J. e LOMBARDI, Neto F. – **Conservação do Solo** – Piracicaba – SP. 392p. Livroceres, 1985.
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographic information systems for land resources assessment.** Oxford, Oxford University Press, 1986.
- CAMARA, G. & MEDEIROS, J. S. **GIS para Meio Ambiente** – Apostila de curso ministrado no VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto e no GIS Brasil 96 – Sagres Editora Ltda., 139p. - 1996.
- CAMARGO, M. N. - Mapa esquemático dos solos das regiões Norte, Meio-Norte e Centro Oeste; texto explicativo. Rio de Janeiro, **Boletim Técnico Departamento Nacional de Pesquisas Agronômicas**, nº 17, 553 p. 1975.

- CAMARGO, M. N.; KLAMT, E. & KAUFFMANN, J. H. - Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 12 (1): 11 - 33, 1987.
- CARVALHO, G. M. B. ; VALÉRIO FILHO, M. ; MEDEIROS, J. S. Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento na identificação da erosão dos solos na Bacia do Rio Aracoiaba – CE. In: **VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Curitiba, 1993.
- CAVIDAD, G. E. A. **Estimativas de custos de produção pecuária de corte no Pantanal Mato-grossense**. Corumbá, EMBRAPA – UEPAE de Corumbá. 1981, 75p. (EMBRAPA- UEPAE de Corumbá. Circular Técnica 3).
- COWEN, D. J. GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 54:1551-4, 1988.
- EMBRAPA – Serviço Nacional de levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro – RJ). Definição e notação de horizontes e camadas de solo. **Documento 3, EMBRAPA – SNLCS**, 2 ed. Revista e atualizada. 54p. Rio de Janeiro, 1988.
- ERDAS Inc **Erdas Field Guide**. Erdas Imagine. Atlanta, Georgia - Fourth Edition, 1997.
- FEMA / MT - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE –Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT – **Ouro da terra e garimpo na bacia hidrográfica do Rio São Lourenço, Mato Grosso – Reflexos no Ambiente**. 1990 – 206p.
- FIGUEIREDO, A. J. de A. **Projeto Alto Guaporé; Relatório Final** – Goiânia, DNPM/CPRM, 1974. 11V. (Relatório do Arquivo Técnico da DGM, 2323).
- FIORI, A. P. ; SOARES, P. C. ; MANTOVANI, L. E. ; ASSINE, M. L. **Geo-Environmental dynamics of Pantanal-Chaco: multitemporal study and previsional modeling**. Departamento de Geologia – UFPR (projeto), 1995.

- FOSTER, G. R.; McCOOL, D. K.; RENARD, K. G. and MOLDENHAUER, W. C. Conservation of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal of Soil and Water Conservation**, 11-12/1981.
- FREIRE, O.; GODOY, M. C. T. F.; CARVALHO, W. A. Erodibilidade de alguns solos do oeste do Estado de São Paulo. **Revista de Geografia**, São Paulo, 11, p.77-87, 1992
- GOUDIE, A. **The human impact on the natural environment** . Blackwell Brasil, Oxford, 1993.
- GUIMARÃES, G. ; ALMEIDA, L. F. G. de **Projeto Cuiabá; Relatório Final**. Cuiabá, DNPM, 42p. (Relatório do Arquivo Técnico da DGM) 1972.
- HASUI, Y. & ALMEIDA, F. F. M. de **Geocronologia do centro oeste brasileiro**. Boletim da Sociedade brasileira de geologia, São Paulo, 19 (1): 5-26, set. 1970.
- HAYMANN, Y. ; STEENMANS, C. ; CROISILE, G. & BOSSARD, M. CORINE Land Cover project – Technical guide. European Commission, Directorate General Environment , Nuclear Safety and Civil Protection, ECSC-EEC-EAEC, Brussels-Luxembourg, 136p. 1994.
- KOK, K.; CLAVAUX, M.B.W.; HEEREBOUT, W.M. & BRONSVELD, K. Land degradation and land cover change detection using low-resolution satellite images and the CORINE database: a case study in Spain. **ITC Journal** 3:217-228, 1995.
- KOZCIAK, S. ; ROSTIROLLA, S. P. ; FIORI, A. P. Análise comparativa entre Métodos de Interpolação para construção de Modelos Digitais do Terreno. **Boletim Paranaense de Geociências**, 1999.

- KUNTSCHIK, G. **Implementação de um modelo de perda de solo por erosão hídrica utilizando técnicas de geoprocessamento**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). São José dos Campos, INPE – Instituto nacional de pesquisas Espaciais, 1996.
- LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J. Tolerância de perdas de terra para solos do Estado de São Paulo. Campinas, SP, **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo**, nº 28, 12 p., 1975.
- LUZ, J. da S. et. aliii. **Projeto Coxipó, relatório final – Fase I**. Goiânia, DNPM/CPRM, 1980 (Relatório do Arquivo Técnico da DGM, 2976) Vol. 1.
- MENESES, P. R.; ASSAD, E. D.; SANO, E. E. Introdução de imagens digitais de satélites de Sensoriamento Remoto. Brasília, Editora Universidade de Brasília, 96p., 1991.
- NIERO, M. ; FORESTI, C. **Uso do solo urbano na área metropolitana de São Paulo através da análise automática de dados LANSAT**. São José dos Campos, INPE – 1983 (INPE – 2788, RPE/437).
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto – Princípios e Aplicações** – Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo – SP. 2ª Edição, 308p. – 1992.
- NOVO, E. M. L. M. **Projeto UTVA- Análise comparativa entre Fotografias Aéreas convencionais e Imagens do LANSAT para fins de levantamento do uso de Terra**. São José dos Campos, INPE, 1978 (INPE- 1337-NTI/113).
- OLIVEIRA, M. A. M. de **Reconhecimento Geológico expedito na região do Alto Paraguai**. Ponta grossa. Petrobrás – DEBSP, 1964. (Relatório Técnico Interno 266).
- OLIVEIRA, M. L. N. ; FORESTI, C. ; NIERO, M. ; PARREIRAS, E. M. de M. F. **Estudo da evolução urbana de Brasília através do uso de dados LANDSAT**. São José dos Campos, 1985 (INPE 3322, PRE 1468).

PCBAP – Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai / Projeto Pantanal. **Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal**. Brasília: PNMA, 1997 – Diagnóstico Ambiental da Bacia do Alto Paraguai – Meio Físico – Vol. 2 Tomo I.

PCBAP – Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai / Projeto Pantanal. **Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal**. Brasília: PNMA, 1997 – Diagnóstico Ambiental da Bacia do Alto Paraguai– Hidrossedimentologia – Vol. 2 Tomo II.

PRANZINI, E. Immagini da Sattellite per l’inventario delle risorse terrestri. Testratto da Speleo n. 7, 1982. In: RIGHINI, G. **Telerilevamento e Sistemi Informativi Territoriali nelle Scienze della Terra: un’applicazione in Brasile Centro-Occidentale**. Dottorado di Ricerca. X Ciclo 1994 –1998. Dipartimento di Scienze della terra. Università degli Studi di Siena – Itália.

RADAMBRASIL Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. - Folha SD.21 Cuiabá: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. **Levantamento de Recursos Naturais**, 26. Rio de Janeiro, 1981. 520p. il. 5 mapas.

SÂNCHEZ, P. A. ; SALINAS, J. G. Suelos ácidos. Estrategias para su manejo com bajos insumos en America tropical. Cali: CIAT, 1983. 93P. In: . **Práticas de Conservação do solo sob pastagens para Mato Grosso do Sul: revisão bibliográfica**. Campo Grande: EMBRAPA – CNPGC, 1993. 96p. (EMBRAPA – CNPGC. Documentos, 54).

SCHNEIDER, R. L. et. aliii. **Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná**. XXVIII. In: Congresso Brasileiro de Geologia. Porto Alegre – RS, 1974.

- SEMMELMAM, F. R.; RISSO, A.; BORGES, A. L. O.; Proposta metodológica: Quantificar processos de erosão linear utilizando de técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas – **Encontro sobre Sensoriamento Remoto Aplicado a Estudos no Pantanal** – Livro de Resumos – INPE – EMBRAPA p. 87-89. Corumbá – MT, 1995.
- SILVA, J. S. V. ; ABDON, M. M. ; SILVA, M. P. ; ROMERO, H. R. Mapeamento e quantificação de áreas desmatadas no Pantanal Brasileiro, utilizando dados TM – **Encontro sobre Sensoriamento Remoto aplicados a estudos no Pantanal** – Livro de Resumos. Corumbá – MS, 1995. INPE – EMBRAPA.
- SMITH, T. ; PEUQUET, D. ; MENON, S. ; AGARWAL, P. KBGIS-II, a knowledge-based geographical information system. **International Journal of Geographical information Systems**. Vol. 1, n.2 – 1987. pp. 149-172.
- SOBRAL FILHO, R. M. ; MADEIRA NETTO, J. DA S. ; FREITAS, P. L. de ; SOUZA, R. L. P. de Práticas de conservação de solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLS, 1980. 88P. (EMBRAPA-SNLS. Serie Miscelânea, 3). In: **Práticas de Conservação do solo sob pastagens para Mato Grosso do Sul: revisão bibliográfica**. Campo Grande: EMBRAPA – CNPGC, 1993. 96p. (EMBRAPA – CNPGC. Documentos, 54).
- STEIN, D.P.; DONZELLI, P.L.; GIMENEZ, F.A.; PONÇANO, E.L. & LOMBARDI NETO, F. Potencial de Erosão Laminar, Natural e Antrópica na Bacia do Peixe-Paranapanema. **Anais do Simpósio Nac. de Controle de Erosão**, 4, Marília, São Paulo, ABGE/DAEE, p.105-135. 1987.
- TEIXEIRA, W. Folhas ao milionésimo SH22 - Porto Alegre, SH2 –Uruguaiana, SI22–Lagoa Mirim; **Considerações preliminares a respeito do quadro geocronológico existentes**. São Paulo, Projeto RadamBrasil, 1980. 21p. (Relatório Interno RADAMBRASIL, 380 G.)

- VALERIANO, D. de M. **Processamento digital de dados MSS – LANSAT, aplicado ao mapeamento de cobertura da terra da planície costeira de Rio Tubarão, SC – Metodologia e estimativa de exatidão de classificação.** São José dos Campos, INPE, 1985 (INPE - 3455, TDL/188).
- WILLIAMS, J. R. Sediment yield prediction with universal equation using runoff energy factor. In: **Present and prospective technology predicting sediment yields and sources.** USDA – ARS Handbook S-40, p. 244-252, 1975
- WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. Predicting Rainfall-Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains. **Agriculture Handbook**, Washington, (282):1-47, 1965.
- WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. Rainfall Energy and its Relationships to Soil Loss. **Amer. Geoph. Union, Transactions**, Washington, 39(2):285-291, 1958.
- WISCHMEIER, W. H. ; JONHSON, C. B. ; CROSS, B. V. **A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites.** Journal of Soil and Water Conservation, 09-10/1971.